

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA**

DANIEL CHRAIM DOS ANJOS

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO LODO TÊXTIL GERADO POR UMA
LAVANDERIA INDUSTRIAL, APLICADO EM ARGAMASSA DE CIMENTO
PORTLAND COMPOSTO DE FÍLER**

JOINVILLE

2017

DANIEL CHRAIM DOS ANJOS

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO LODO TÊXTIL GERADO POR
UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL, APLICADO EM ARGAMASSA DE
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO DE FÍLER**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Infraestrutura no Curso
de Engenharia de Infraestrutura da
Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Joinville.**

Orientadora: Viviane Lilian Soethe

Joinville

2017

DANIEL CHRAIM DOS ANJOS

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO LODO TÊXTIL GERADO POR
UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL, APLICADO EM ARGAMASSA DE
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO DE FÍLER**

Esta Monografia foi julgada e aprovada
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro de Infraestrutura na
Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro de Joinville.

Joinville (SC), 30 de Novembro de 2017.

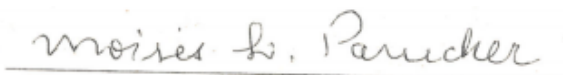


Prof. Dra. Valéria Bennack
Coordenador do Curso

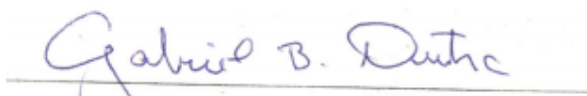
Banca Examinadora:



Prof. Dra. Viviane Lilian Soethe
Orientadora/Presidente



Prof. Dr. Moisés Luiz Parucker
Membro



Prof. Dr. Gabriel Benedet Dutra
Membro

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Talmo Carsten dos Anjos e Maria da Graça Chraim dos Anjos por me darem a vida e me educarem com todo o amor e sabedoria, fazendo dos meus sonhos a sua maior felicidade.

A minha família pelo total apoio, conselhos e incentivo ao longo de toda essa trajetória.

Ao meu irmão Felipe Chraim dos Anjos, por ser a pessoa que mais apostou em mim durante todos esses anos de graduação.

A minha companheira Fernanda por me acompanhar durante boa parte da minha graduação convivendo com meus anseios e angustias, mas sempre se tornando presente para me amparar e apoiar.

Aos laços de amizade que tive a oportunidade de construir durante a graduação, se tornando o alicerce para jamais me fazerem desistir dos meus sonhos. Especialmente, minha segunda família chamada Rapeize, esses sim, merecem todo meu agradecimento. Me fizeram acreditar no meu potencial quando eu mesmo não acreditava, me estenderam a mão e me proporcionaram o sentimento mais verdadeiro que eu conheço, a amizade. Foram os melhores anos da minha vida e guardo cada um no meu coração.

A professora Viviane Lilian Soethe pelo total apoio, pelo conhecimento repassado e conselhos nos momentos que mais necessitei de ajuda, minha eterna gratidão.

Ao Laboratório de Polímeros do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), campus Joinville, muito obrigado pelo auxílio.

Ao laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville, muito obrigado pelo auxílio.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo dos efeitos causados pelas diferentes adições de resíduos têxteis de uma lavanderia industrial em argamassas de Cimento Portland Composto de Fíler e verificar as mudanças de comportamentos físicos e químicos do mesmo. Os corpos-de-prova foram produzidos no laboratório da UFSC, no campus de Joinville. Ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão, trabalhabilidade, absorção de água, densidade aparente e porosidade aberta, foram realizados de acordo a normativa brasileira de concreto. Os resultados indicam que as maiores adições de resíduo têxtil geraram diminuição na resistência mecânica dos corpos-de-prova, entretanto, resultaram em uma argamassa com baixa densidade aparente e elevada absorção de água. Avaliando-se os resultados buscou-se investigar uma possível aplicação na construção civil para este material, concluindo que as argamassas com até 10% de resíduo têxtil possuem funções como materiais de alvenaria estrutural.

Palavras-chave: Lavanderia Industrial. Argamassas de Cimento Portland. Resistência à compressão. Resíduo Têxtil. Construção Civil.

ABSTRACT

The main objective of this work is to study the effects of the different additions of textile waste from an industrial laundry on Portland cement composite mortar of Filer and to verify the changes in physical and chemical behavior of the same. The specimens were produced in the laboratory of UFSC, in the campus of Joinville. Tests of compressive strength, tensile strength, workability, water absorption, bulk density and open porosity were performed according to Brazilian concrete standards. The results indicated that the higher additions of textile waste generated a decrease in the mechanical strength of the specimens, however, resulted in a mortar with low apparent density and high water absorption. Evaluating the results, it was investigated a possible application in the civil construction for this material, concluding that mortars with up to 10% of textile residue have functions as structural masonry materials.

.

Keywords: Industrial Laundry, Portland Cement Mortar. Compressive strength. Textile Waste. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma geral do processo de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial	22
Figura 2 - Esquema simplificado do tratamento de efluente de uma lavanderia industrial	23
Figura 3 - Percloroetileno: a) Estrutura Molecular, b) Estrutura Molecular 3D, c) Embalagem do Produto Vendido Comercial.	24
Figura 4 – Solvente Comercial Varsol Produzido Pela Empresa Esso	26
Figura 5 - Representação dos esforços mecânicos sofridos por um material em trabalho	28
Figura 6 - Esforços mecânicos causados por mal dimensionamento dos pilares: a) Flambagem, b) Compressão, c) Cisalhamento.	29
Figura 7 - Esquema ilustrativo dos diferentes processos de composição da argamassa	30
Figura 8 - Composição dos materiais presentes na argamassa experimental em estudo	35
Figura 9 - Plano experimental contendo os ensaios para caracterização das matérias primas e amostras	36
Figura 10 - Matérias primas utilizadas na preparação da argamassa experimental: a) CP II – F – 32, b) Lodo Têxtil, c) Areia Média, d) Solução H ₂ O.	37
Figura 11 - a) Lodo Têxtil; b) Tambor de polietileno com tampa de fecho hermético ..	38
Figura 12 – Espectrômetro EDX 700 Shimadzu	39
Figura 13 - a) CP II – F – 32; b) Recipiente de armazenagem do CP II – F – 32	41
Figura 14 - Resistência à compressão CP II – F – 32.....	43
Figura 15 - Areia média usada para produção da argamassa	43
Figura 16 - Distribuição granulométrica da areia média	44
Figura 17 – Ilustração demonstrando o processo de aglomeração do cimento até o estado endurecido.	45
Figura 18 - a) argamassa de referência; b) misturador de pás mecânicas.	46
Figura 19 - Molde para confecção dos corpos de prova, nivelador de camadas e régua metálica.....	48
Figura 20 - a) Imagem ilustrativa de um Contador de Golpes Automático; b) Mesa de adensamento por queda para argamassas – utilizada para fabricação dos CP's.....	48
Figura 21 - Corpos de prova no processo de secagem a temperatura ambiente	49

Figura 22 - Corpos de prova desconformados e organizados para período de 28 dias de cura,	49
Figura 23 - a) mesa para realização do FTT; b) molde tronco cônico; c) soquete; d) espátula para preenchimento do molde; e) espátula para nivelar o molde.	50
Figura 24 - (a) máquina de carga universal; (b) dispositivo para ensaio de compressão; (c) dispositivo para ensaio de flexão.	51
Figura 25 - a) aparato para ensaio de Arquimedes; b) pesagem submersa; c) pesagem de superfície saturada.	52
Figura 26 - Equipamento utilizado para o MEV	53
Figura 27 - Resultados obtidos pelo ensaio de mesa de consistência (Flow Table Test)	56
Figura 28 - Ensaio de espalhamento para determinação da razão sólido/líquido a ser utilizada nas diferentes adições de lodo têxtil. a) REF; b) 5%; c) 10%; d) 15%; e) 20%.	57
Figura 29 - Densidade aparente das argamassas experimentais	58
Figura 30 - Porosidade aberta das argamassas com diferentes teores de lodo têxtil	59
Figura 31 - Resultados de absorção de água para argamassas com diferentes teores de lodo têxtil após 28 dias de cura.	60
Figura 32 - Resistência à compressão da argamassa experimental a 28 dias de cura. ...	61
Figura 33 - Gráfico comparativo compressão/densidade aos 28 dias de cura.....	62
Figura 34 - Gráfico comparativo compressão/porosidade aos 28 dias de cura	62
Figura 35 - Gráfico comparativo compressão/absorção aos 28 dias de cura.....	63
Figura 36 - Resistência à flexão da argamassa experimental a 28 dias de cura.	63
Figura 37 - Micrografias obtidas por meio da MEV para os corpos de prova, a) REF; b) 5%; c) 10%; d) 15%; e) 20%.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos tipos de argamassas	32
Tabela 2 - Caracterização física do lodo têxtil	40
Tabela 3 - Composição Química CP II – F – 32	41
Tabela 4 - Propriedades Físicas do CP II – F – 32 obtidas pela empresa ITAMBÉ	42
Tabela 5 - Composição das formulações utilizadas na argamassa experimental	46
Tabela 6 - Resultado quantitativo por fluorescência de raios x de elementos metálicos presentes no lodo têxtil	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

σ – Tensão

μm – Micrometro

% - Porcentagem

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius

A – Área

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio (Alumina)

ANEL – Associação Nacional de Empresas de Lavanderia

ANP – Agência Nacional de Petróleo

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ATD – Análise da Curva Termogravimétrica Derivativa

ATG – Análise da Curva Termogravimétrica

C_2Cl_4 – Percloroetileno

Ca – Cálcio

CaO – Óxido de Cálcio

CFC – Gás Clorofluorcarbonetos

Cl – Cloro

Cl_2 – Dicloro

cm – Centímetro

cm^2 - Centímetro Quadrado

cm^3 - Centímetro Cúbico

CO – Monóxido de Carbono

CO_2 – Dióxido de Carbono

CP II – F – 32 – Cimento Portland Composto de Fíler

Cu – Cobre

d – Diâmetro

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

ddp – Diferença de Potencial

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETE – Estação de Tratamento de Efluente
F – Flúor
 Fe_2O_3 – Óxido de Ferro
FRX - Fluorescência por raio-X
FTT – Flow Table Test
h – Horas
 H_2O – Hidróxido de Oxigênio
HCL – Cloreto de Hidrogênio
K – Potássio
 K_2O – Óxido de Potássio
kg – Quilograma
m – Metro
M – Mega
max – Máximo
mi – Massa Imersa
min – Mínimo
ms – Massa Seca
msss – Massa com Superfície Saturada Seca
mg – Miligrama
Mg – Magnésio
 MgO – Óxido de Magnésio
mm – Milimêtro
Na – Sódio
 Na_2O – Óxido de Sódio
Ni – Níquel
NBR – Normativa Brasileira
n.d – Não Detectável
 P_2O_5 – Óxido de Fósforo
P – Fósforo
Pa – Pascal
Pab – Porosidade Aberta
PERC – Percloroetileno
pH – Potencial Hidrogênionico
REF - Referência

rpm – Rotações por Minuto

S – Enxofre

Si – Silício

SiO – Óxido de Silício

SO₃ – Óxido de Enxofre

Sr – Estrôncio

SrO – Óxido de Estrôncio

UDESC – Universidade Estadual de Santa Catarina

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1.1 Indústria têxtil.....	17
2.1.2 Fiação	17
2.1.3 Tecelagem.....	18
2.1.4 Beneficiamento	18
2.2 Lavanderia Industrial	20
2.3 Lodo de Lavanderia Industrial	23
2.4 Substâncias Utilizadas em Lavanderias Industriais.....	24
2.4.1 Percloroetileno	24
2.4.2 Hidrocarboneto alifático cicloparafínico	26
2.5 Materiais de construção	27
2.5.1 Esforços mecânicos	28
2.6 Argamassa de Cimento Portland	29
2.7 Definições e aplicações.....	30
2.7.1 Propriedades no estado fresco	31
2.7.2 Propriedades no estado endurecido	31
2.8 Utilização de resíduos na construção civil e na indústria têxtil.....	32
2.9 Impacto financeiro e sustentável	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Materiais.....	37
3.1.1 Argamassa Experimental.....	38
3.1.2 Coleta e caracterização do lodo têxtil.....	38
3.1.3 Cimento Portland Composto de Fíler (CP II – F – 32).....	40

3.1.4 Areia Média	43
3.1.5 Solução ativadora (H ₂ O).....	44
3.2 Métodos	45
3.2.1 Definição e produção das amostras	46
3.2.2 Moldagem dos corpos de prova.....	47
3.2.3 Ensaio Mesa de Consistência (Flow Table Test).....	50
3.2.4 Propriedades mecânicas.....	51
3.2.5 Propriedades físicas	52
3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 Fluorescência de raio-x	55
4.2 Trabalhabilidade	56
4.3 Densidade aparente	58
4.4 Porosidade aberta	59
4.5 Absorção de água.....	59
4.6 Resistência à compressão	60
4.7 Resistência à flexão	63
4.8 MEV	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6 TRABALHOS FUTUROS.....	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A humanidade vive uma crise relacionada ao aumento do consumo e da crescente exploração dos recursos naturais, oriunda do crescimento populacional e da larga escala de industrialização. Estas ações deixam dúvidas quanto ao futuro do planeta e dos seres vivos e gera a necessidade de ações de proteção do meio ambiente. Dentre estas ações pode-se destacar a mudança de atitudes e de comportamentos, além da maximização da utilização dos recursos naturais disponíveis. Neste sentido, a questão ambiental passa a ser uma variável importante no processo de tomada de decisões empresarias, estando sujeitas a aspectos e pressões legais, sociais e mercadológicas (ANDRADE; TACHIZAWA; CARVALHO, 2002).

Por conseguinte, cresce o interesse por uma consciência ambiental no contexto da indústria devido ao aumento nos níveis de poluição e seus efeitos, bem como pela elaboração de leis preventivas e pelo crescimento da demanda por produtos *verdes* e processos *limpos* ou ecologicamente corretos (ALVES, 2007; LEITE, 2009; OLIVEIRA; 2008). É importante destacar que a poluição é apontada como um dos aspectos de maior impacto na degradação do meio ambiente (DONAIRE, 1999). A poluição está associada a fatores como, por exemplo, a evolução dos meios produtivos a partir da industrialização da economia em larga escala e, na maioria das vezes, sem critérios adequados, e ao crescimento populacional expressivo em grandes centros urbanos (MEDEIROS et al., 2007).

Dentro desse contexto, a indústria de confecções do vestuário é a principal produtora de bens finais do complexo têxtil e seu produto possui um ciclo de vida comercial curto, por se tratar de produto de moda, que é ditado por tendências de cada época. O consumismo, guiado por fatores culturais, tais como estética, escolha individual e novidade, faz com que esta indústria colabore para a elevada utilização dos recursos naturais e posterior geração de resíduos, tornando necessária a discussão sobre modelos e processos de produção e consumo responsáveis (LEITE, 2009). Como alternativa, surge a possibilidade destas empresas adotarem tecnologias limpas, que são justificáveis à

medida que podem levar a um aumento de produtividade, resultante da redução de custos, e à racionalização dos desperdícios no âmbito dos processos produtivos (GETZNER, 2002).

Entretanto, o surgimento das empresas no setor têxtil serviu de portfólio para a criação de um mercado extremamente amplo. De acordo com a Associação Nacional de Empresas de Lavanderia (ANEL), existem 9.500 lavanderias no país, sendo 7.400 do segmento doméstico que atendem ao consumidor final, e 2.100 do segmento industrial. De acordo com o último levantamento feito pela ANEL, no ano de 2014, estima que o faturamento do setor foi de aproximadamente 7 bilhões de reais. Até 2020, espera-se que haja um crescimento de 10% em faturamento e 20% em oferta de serviços. Como cada setor tem sua própria especialidade ou produto a ser trabalhado, essas lavanderias seguem processos diferenciados.

No caso das lavanderias industriais, a relevância social e econômica, conjugada com seu potencial poluidor, vem intensificando, nas últimas décadas, a realização de pesquisas acadêmicas. A difusão de temas que economicamente influenciam a tantos países justifica a necessidade do debate acadêmico como um propulsor de ações tendo em vista a sustentabilidade (BRITO, 2013).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo do lodo têxtil gerado por uma lavanderia industrial, aplicando-o em argamassas de Cimento Portland composto de fíler para investigação de sua utilização na construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Analisar as propriedades químicas do lodo de lavanderia industrial;
2. Produzir uma argamassa experimental com diferentes porcentagens de lodo;
3. Estudar as propriedades no estado fresco e endurecido até os 28 dias de cura;
4. Determinar a resistência de flexão dos corpos de prova pela NBR 13279/2005;

5. Determinar a resistência de compressão axial dos corpos de prova pela NBR 13279/2005;
6. Avaliar o impacto proporcionado pelo lodo têxtil na argamassa experimental;
7. Analisar possíveis aplicações para argamassa experimental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo são apresentados os conceitos relacionados com a problemática do trabalho. Para tal serão discutidos panoramas gerais da indústria têxtil e da construção civil. O enfoque principal será a análise do resíduo têxtil gerado por uma lavanderia industrial e a viabilidade da adição deste material em uma argamassa experimental.

2.1.1 Indústria têxtil

As indústrias têxteis estão presentes em todas as nações do mundo, seja qual for o seu estágio de industrialização, e encontram-se incluídas em todas as atividades compreendidas entre a fabricação de fibras ou filamentos e o acabamento final de fios e tecidos. Têm por objetivo transformar a matéria prima em fios e tecidos para que possam ser utilizados nos produtos a que se destinam, sem necessitar de modificações em sua estrutura básica. A indústria têxtil é considerada uma das mais antigas do mundo. Os dados levam a crer que o Egito, com suas múmias revestidas de tecido, e a Índia, com seus famosos panos para vestimenta, constituíram o berço dessa indústria (RIBEIRO, 2009). O processo têxtil de produção de tecidos pode ser dividido em fiação, tecelagem e beneficiamento.

2.1.2 Fiação

A fiação é um processo de transformação de fibras em fios, através de uma sequência de operações. No caso das fibras naturais, principal tipo processado no Brasil, o conjunto de operações tem a função de orientar as fibras em uma mesma direção (paralelização) e torcê-las para que se prendam umas às outras por atrito. O processo de fiação é comumente constituído das etapas de abertura, limpeza, estiragem e torção. Dependendo do material, algumas dessas etapas podem ser suprimidas. Pode-se dizer que

as características físicas da fibra condicionam o processo geral de fiação, tendo para cada uma sua influência particular (VIANA, 2005).

2.1.3 Tecelagem

Denomina-se tecelagem o processo pelo qual se produzem os tecidos através do cruzamento em ângulo reto de dois sistemas de fios paralelos. Existem três tipos gerais de tecelagem: tecelagem de tecido plano, de tecido de malha e de tecidos não tecidos (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

Na etapa de tecelagem, os fios tintos ou crus são transformados em tecidos nos teares. Esta etapa trata-se de um processo seco, portanto não ocorre a geração de efluentes líquidos, muito embora a etapa posterior de desengomagem seja uma importante fonte geradora de efluentes líquidos poluidores (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; FREITAS, 2002). A tecelagem no processo de produção dos tecidos planos é obtida pelo lançamento perpendicular de duas ordens de fios: os de urdume (no sentido do comprimento) e os de trama (no sentido da largura). Antes da tecelagem propriamente dita, o processo de produção possui algumas etapas de preparação, que são realizadas nas urdineiras, engomadeiras e espuladeiras, sucessivamente (VIANA, 2005).

Normalmente, são utilizados dois tipos básicos de goma: as gomas naturais (amido de milho e mandioca) e as sintéticas, à base de poliacrilato, carboximetilcelulose, carboximetilamino e álcool polivinílico. Embora a goma apresente demanda bioquímica de oxigênio elevada, a quantidade é muito reduzida se comparada com a carga e a quantidade de efluentes gerados no beneficiamento (BELTRAME, 2000; SILVA, 2004).

2.1.4 Beneficiamento

O beneficiamento pode ser segmentado em pré-tratamento, tinturaria, estamparia e acabamento final, e é nesta última etapa que os tecidos são tratados para adquirirem as características de toque, impermeabilidade, estabilidade dimensionais etc. É durante essa fase que é gerada grande parte dos efluentes têxteis (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

O tratamento prévio elimina a impureza das fibras e melhora a estrutura do material para prepará-lo para as operações de tingimento, estamparia e acabamento. Este conjunto de operações tem por finalidade eliminar impurezas inerentes às fibras e aquelas

introduzidas no processamento têxtil (fiação e tecelagem), preparando para os processos subsequentes (ARAÚJO; CASTRO, 1984; BELTRAME, 2000).

As impurezas pré-existentes ou adquiridas durante as etapas anteriores, tais como cera, graxas e gomas são removidas, e em seguida é realizado o tingimento ou a estampagem do tecido, bem como algumas operações que têm por finalidade propiciar estabilidade dimensional, aspecto estético, suavidade ou aspereza ao tato, aumento de resistência, capacidade de absorção de água etc. (BELTRAME, 2000; VIANA, 2005).

O tingimento é o processo de aplicação de corantes ou pigmentos às fibras têxteis, com a finalidade de adicionar ou modificar o aspecto visual da cor, tornando o tecido adequado às exigências do consumidor (AMORIM, 1996). De acordo com Beltrame (2000), dentro das etapas de beneficiamento esta é a operação mais complexa, pois abrange um grande número de corantes e auxiliares de tingimento.

O que determina o processo é o material a ser tingido. Segundo Beltrame (2000), a escolha do corante adequado ou do pigmento deve atender a afinidade com a fibra, igualização (uniformidade de cor), solidez (resistência ao desbotamento), e economia (quantidade necessária de corante, auxiliares e tempo de realização) (BELTRAME, 2000).

Já a estamparia, diferentemente dos tingimentos, consiste na aplicação de um desenho colorido no material têxtil, cores ou desenhos localizados, sendo uma das mais técnicas têxteis mais exigentes. Em sua maioria, repetem-se regularmente em intervalos definidos, sendo que cada cor é estampada separadamente.

O acabamento tem como objetivo conferir aos tecidos qualidades não atingidas nos processos anteriores, como o toque mais liso, resistência ao uso, impermeabilização e aplicação de antimoho e antibactericida. São as operações que conferem as características essenciais de aspecto, brilho, toque, caimento, amarrotamento, resistência etc. (BELTRAME, 2000).

Após estas etapas, o setor de confecções é o último elo da cadeia, sendo o principal destinatário da indústria têxtil. Embora esta etapa seja constituída por uma indústria distinta, a maioria das plantas têxteis a internalizam para agregar maior valor ao produto. Contudo, muitas empresas terceirizam estes serviços através do sistema de facção.

O desenvolvimento das indústrias de confecções está associado às lavanderias têxteis, por estas serem imprescindíveis ao processo de beneficiamento das peças e o último acabamento dado ao produto final antes de chegar ao consumidor (VIANA, 2005).

2.2 Lavanderia Industrial

No final do século XVIII, durante a revolução industrial, o setor têxtil se destacou na área industrial, sendo um dos precursores e mais antigos no mundo. Além disso, durante o desenvolvimento da tecnologia química, ocorreram algumas mudanças, principalmente pela incorporação de novos métodos de produção e novas tecnologias no processo produtivo (MELLO, 2000).

No Brasil, o processo de industrialização têxtil teve início no fim do século XIX. Esse ramo teve um importante papel no desenvolvimento da política industrial nacional, sendo atualmente composto, em sua maioria, por empresas de pequeno e médio porte. Nesse setor, as empresas localizam-se por todo o país, com destaque os estados de Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco, Bahia e Ceará (LEÃO et al., 1999).

Com o crescimento do setor têxtil e com o desenvolvimento da sociedade, surgiram as lavanderias domésticas e industriais sendo a última o foco do presente trabalho.

Nos processos de lavagem de uniformes industriais, o tecido é mais resistente e possui contaminantes mais agressivos, exigindo produtos diferenciados para a limpeza. Algumas lavanderias realizam também o tingimento de roupas, liberando em seus efluentes corantes orgânicos que dificultam o tratamento da água (MELLO, 2000).

O efluente gerado pela lavagem contém, além das sujeiras removidas das roupas, substâncias utilizadas para a higienização das mesmas. É comum, depois de prolongada estagnação do efluente, que ocorra considerável decomposição por bactérias, ocasionando mau cheiro. O sabão e outros detergentes presentes na água produzem uma suspensão relativamente estável contendo resíduos de sujeira e fibras de tecidos (BRAILE; CAVALCANTE, 1993).

Os efluentes da lavagem de roupas apresentam em sua composição uma diversidade de impurezas que, se despejados de maneira incorreta, podem prejudicar o meio ambiente (BRAILE; CAVALCANTE, 1993).

Quando os despejos de lavanderias devem ser tratados, geralmente emprega-se o tratamento físico-químico (coagulação-floculação com sulfato de alumínio), seguido por sedimentação e filtração. A complementação do processo ocorre através de adsorção em carvão ativado ou processos biológicos. A outra possibilidade é a adição de lagoas de estabilização ou outros processos biológicos. Essa alternativa, porém, somente é válida

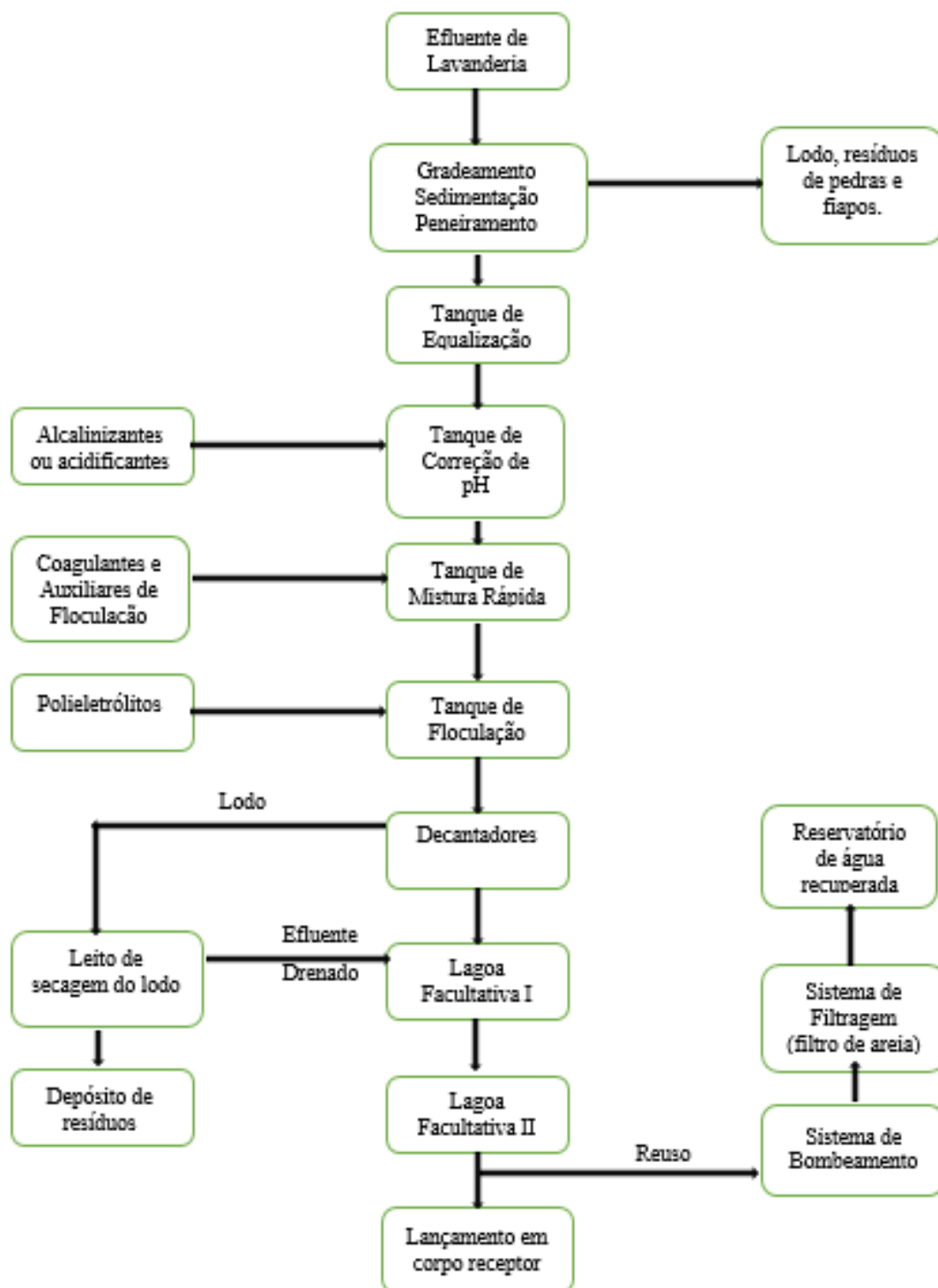
em empresas que possuem área disponível para a construção de lagoas de estabilização, não sendo o caso da maioria das lavanderias (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Uma estação de tratamento de efluentes possui comumente algumas etapas: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e por fim o tratamento avançado. De acordo com Castro (2010), as quatro etapas são realizadas da seguinte forma:

- Pré-tratamento ou tratamento preliminar: nessa etapa ocorre a retenção de materiais sólidos grosseiros (plástico, latas, trapos, madeira) ou de areia, os quais podem ocasionar danos aos equipamentos das próximas etapas. São utilizadas peneiras e gradeamento.
- Tratamento Primário: ocorre o processo físico-químico, com adição de produtos químicos para a remoção de uma parte dos sólidos suspensos e da matéria orgânica presente no efluente. Normalmente, essa etapa é acompanhada de uma separação sólido-líquido com sedimentação, flotação ou filtração.
- Tratamento Secundário: remoção da matéria orgânica em suspensão ou dissolvida através de processos biológicos. Contempla a remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, bem como de outros poluentes.
- Tratamento avançado ou terciário: retirada do material sólido suspenso ou dissolvido não retido no processo biológico secundário, feita usualmente por processo biológico complementar, adsorção ou processos com membranas.

A Figura 1 apresenta um fluxograma geral do processo de tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial, evidenciando algumas das etapas descritas (CASTRO, 2010).

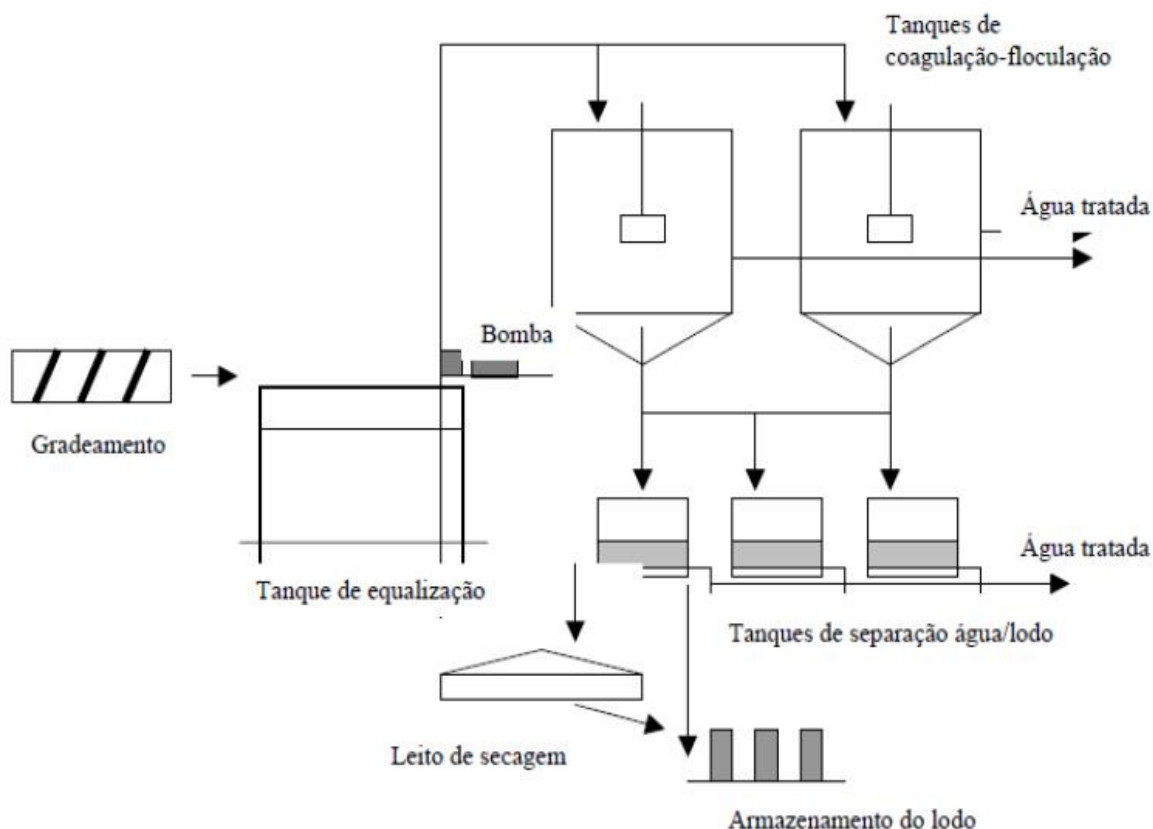
Figura 1 - Fluxograma geral do processo de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial



Fonte: CASTRO (2010)

Na Figura 2 é apresentado um esquema simplificado do sistema de tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial, onde a água de processo é tratada, gerando assim o lodo. Este lodo é gerado no tratamento primário, sendo que o restante do efluente passa pelas etapas subsequentes (MENEZEZ, 2005).

Figura 2 - Esquema simplificado do tratamento de efluente de uma lavanderia industrial



FONTE: MENEZES (2015).

2.3 Lodo de Lavanderia Industrial

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos são classificados seguindo a norma ABNT NBR 10004. Esta norma estabelece que sejam definidos como resíduos sólidos, materiais sólidos e semi-sólidos, resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, agrícolas e comerciais. A norma ainda classifica os resíduos em Classes I e II, sendo que os resíduos de Classe I são perigosos e os de Classe II são classificados como não perigosos. A Classe II ainda se subdivide em inertes e não inertes.

Os resíduos gerados, segundo a ABNT NBR 10007, são submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006. Nenhum de seus constituintes foram solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme o Anexo G da norma NBR 10004/2004.

O lodo gerado durante o processo de tratamento do efluente tem composição química variada, podendo conter, entre outras coisas, metais. Este lodo, segundo a norma ABNT NBR 10004, é então caracterizado como Classe II não inerte, não podendo ser depositado em um aterro sanitário comum.

Alguns estudos foram feitos para caracterizar os lodos gerados por lavanderias. Colanzi (2002) conclui que, apesar de diferentes processos de tratamento de efluentes das lavanderias, os lodos gerados possuem características semelhantes. Algumas destas características são: alto teor de umidade, presença predominante de alumínio, sódio, ferro e silício. O ferro e o alumínio são constituintes de produtos utilizados no processo de tratamento do efluente, ficando retidos no lodo.

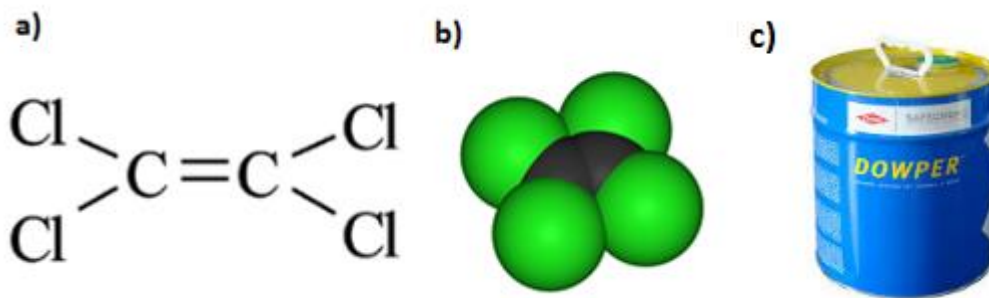
2.4 Substâncias Utilizadas em Lavanderias Industriais

Na sequência é apresentada uma breve descrição das substâncias mais utilizadas no processo de lavagem das lavanderias industriais, evidenciando sua estrutura molecular e as consequências de sua utilização. Essas substâncias influenciam nas composições dos lodos que são depositados no leito de armazenamento da lavanderia.

2.4.1 Percloroetileno

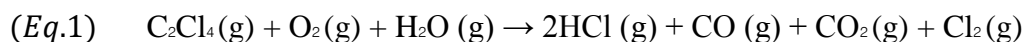
O solvente tetracloreto, comercialmente conhecido como percloroetileno ou simplesmente PERC, é largamente utilizado na indústria de lavagem a seco como agente de limpeza. A fórmula molecular do percloroetileno é C_2Cl_4 e sua estrutura pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Percloroetileno: a) Estrutura Molecular, b) Estrutura Molecular 3D, c) Embalagem do Produto Vendido Comercial.



Fonte: www.quimidrol.com.br

Esse solvente também é utilizado em tinturarias, indústrias têxteis, indústrias de limpeza, fábricas de borrachas laminadas como desengraxantes de metais e por fabricantes do gás clorofluorcarbonetos (CFC) (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, 2004). Quando os vapores de percloroetileno são expostos a situações de elevada temperatura, acima de 600°C, na presença de oxigênio e água, observa-se a formação de cloreto de hidrogênio (HCl), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e cloro (Cl₂), representada pela Equação 1 (DOW, 1992; YASUHARA, 1993):



Por meio de uma reação secundária, os gases monóxido de carbono e cloro poderão se combinar e formar fosgênio (COCl₂), um gás tóxico e corrosivo, como apresentado na Equação 2:



A formação deste produto pode trazer riscos muito maiores do que o próprio solvente, visto o maior grau de toxicidade do fosgênio que, mesmo em concentrações letais, pode não provocar efeitos perceptíveis, levando à morte por consequência de problemas respiratórios, além de provocar a corrosão de materiais metálicos presentes no local de trabalho (DOW, 1992).

2.4.2 Hidrocarboneto alifático cicloparafínico

Há aproximadamente trinta anos no mercado, o Varsol (nome comercial) é produzido pela Esso. Utilizado como um removedor doméstico, apresenta um cheiro mais acentuado e uma secagem mais rápida, se comparado a outros produtos da categoria. É recomendado para retirar manchas de vários produtos têxteis como carpetes, tapetes e roupas. Considerado um solvente, o Varsol apresentado na Figura 4, é uma mistura com combinação de hidrocarbonetos alifáticos (composição aproximada de 18% hidrocarbonetos aromáticos, 40% hidrocarbonetos naftínicos e 42% parafínicos), sendo produzido a partir da destilação do petróleo. Esse produto se destaca por sua densidade, de aproximadamente 0,790 g/cm³. Inferior à do ar, de 1,2 g/cm³. Esta diferença permite que o mesmo evapore com maior facilidade, proporcionando eficiência na secagem de roupas (DOW, 1992).

Figura 4 – Solvente Comercial Varsol Produzido Pela Empresa Esso



Fonte: www.leroymerlin.com.br

Por outro lado, este produto é considerado altamente inflamável, sendo muito perigoso, devendo ser manuseado com muito cuidado. Esta desvantagem faz com que muitas lavanderias optem por outros produtos, que possuem maior grau de segurança, pois a exposição prolongada a este produto pode causar asfixia e transtornos fisiológicos.

2.5 Materiais de construção

Os materiais de construção são definidos como todo e qualquer material utilizado na construção de uma edificação, desde a locação e a infraestrutura da obra até a fase de acabamento, indo de um simples prego até os mais conhecidos materiais, como o cimento.

Os materiais de construção podem ser classificados de acordo com diferentes critérios, sendo que os principais são a classificação quanto à origem e à função dos mesmos (SILVA,1985).

Quanto à origem ou ao modo de obtenção, os materiais de construção podem ser classificados em:

- a) Naturais: aqueles encontrados na natureza, prontos para serem utilizados. Em alguns casos precisam de tratamentos simplificados, como uma lavagem ou uma redução de tamanho, para serem utilizados. Como exemplo desse tipo de material há a areia, a pedra e a madeira.
- b) Artificiais: obtidos por processos industriais, como exemplo, pode-se citar os tijolos, as telhas e o aço.
- c) Combinados: obtidos pela combinação entre materiais naturais e artificiais. Concretos e argamassas são exemplos desse tipo de material.

Quanto à função onde forem empregados, os materiais de construção podem ser classificados em:

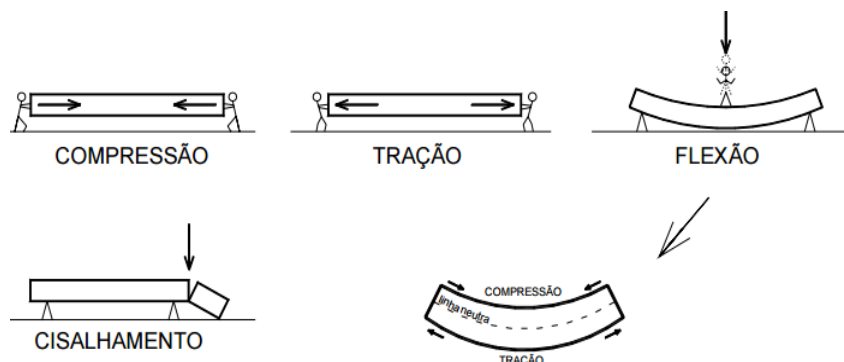
- d) Materiais de vedação: não apresentam função estrutural, servindo para isolar e fechar os ambientes nos quais são empregados, como os tijolos de vedação e os vidros.
- e) Materiais de proteção: utilizados para proteger e aumentar a durabilidade e a vida útil de uma edificação. Nessa categoria pode-se citar as tintas e os produtos de impermeabilização.
- f) Materiais com função estrutural: suportam as cargas e demais esforços atuantes na estrutura. A madeira, o aço e o concreto são exemplos de materiais utilizados para esse fim.

2.5.1 Esforços mecânicos

Os materiais de construção estão constantemente submetidos a solicitações como cargas, peso próprio, ação do vento, entre outros esforços. Dependendo da forma como os esforços se aplicam a um corpo, recebem uma denominação (BARROS, 2009). Os principais esforços (Figura 5) aos quais os materiais podem ser submetidos são:

- Compressão: esforço aplicado na mesma direção e sentido contrário que leva a um encurtamento do objeto na direção que está aplicado;
- Tração: esforço aplicado na mesma direção e sentido contrário que leva o objeto a sofrer um alongamento na direção em que o esforço é aplicado;
- Flexão: esforço que provoca uma deformação na direção perpendicular ao qual é aplicado;
- Torção: esforço aplicado no sentido da rotação do material;
- Cisalhamento: esforço que provoca a ruptura por cisalhamento.

Figura 5 - Representação dos esforços mecânicos sofridos por um material em trabalho



Fonte: BARROS (2009, p. 13)

O desenvolvimento de tecnologias, materiais de construção e processos construtivos inovadores tem ocasionado a construção de edificações cada vez mais simplificadas e econômicas. Entretanto, a carência de mão de obra especializada, a busca por maiores lucros por meio da redução dos custos de produção têm interferido negativamente na qualidade das habitações produzidas no Brasil nos últimos anos (DAL MOLIN, et al., 2016).

Neste sentido muitas construções começaram a apresentar níveis de degradação superior aos desejados, exibindo problemas relacionados à qualidade e a durabilidade, sobretudo, ao aparecimento de manifestações patológicas, que afetam a segurança, a utilização e a durabilidade das construções (POSSAN e DEMOLINER, 2013). Podem ser

observados esforços mecânicos em diversas etapas da construção civil, entretanto, um caso muito recorrente é no sistema de dimensionamento de pilares em edificações apresentados na Figura 6 (POSSAN e DEMOLINER, 2013).

Figura 6 - Esforços mecânicos causados por mal dimensionamento dos pilares: a) Flambagem, b) Compressão, c) Cisalhamento.

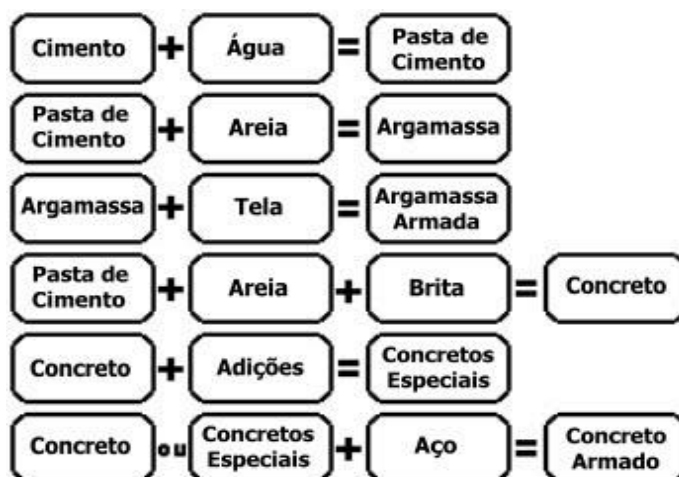


Fonte: (POSSAN e DEMOLINER, 2013).

2.6 Argamassa de Cimento Portland

Na mistura da argamassa, como apresentado esquematicamente na Figura 7, o Cimento Portland, juntamente com a água, forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado em fôrmas com as mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição (SENÇO, 2008).

Figura 7 - Esquema ilustrativo dos diferentes processos de composição da argamassa



Fonte: ANP (2005) apud Bernucci et al. (2010, p. 61).

A argamassa de Cimento Portland deve conter cimento, água e areia, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequentes. A proporção entre os diversos constituintes é realizada visando atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para a argamassa, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso (ISAIA, 2001).

A fluidez da pasta, constituída de cimento e água, dependerá essencialmente da distribuição granulométrica do cimento e da quantidade de água adicionada, que é expressa pela relação água/cimento (SENÇO, 2008).

O Cimento Portland é um produto de características bem definidas em suas normas aprovadas, no Brasil, pela ABNT. O clínquer de Cimento Portland pode dar origem a vários tipos de Cimento Portland, alguns dos quais de fabricação corrente no Brasil, e que obedecem a normas técnicas específicas.

2.7 Definições e aplicações

A argamassa inorgânica é, por definição, uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (NBR 7200, 1998).

A argamassa estudada no presente trabalho é composta de lodo têxtil, areia, Cimento Portland comum e água.

2.7.1 Propriedades no estado fresco

Quando se trata da aplicabilidade da argamassa, a avaliação de suas propriedades no estado fresco é de suma importância. A plasticidade e fluidez da argamassa devem ser controladas de forma que atendam ao meio no qual será empregada. Uma argamassa de revestimento em alvenaria, por exemplo, necessita de maior plasticidade do que aquela empregada para correções de nível do pavimento (contra piso).

Segundo Silva (2015), as propriedades como retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado também são essenciais para garantir a trabalhabilidade da argamassa. A trabalhabilidade é o fator de maior interesse nas argamassas, mas ao mesmo tempo é uma propriedade de grande variação, já que pode ser alterada para cada uma das diferentes aplicações nas quais a argamassa será utilizada. O ajuste da trabalhabilidade acontece primeiramente pela relação de água utilizada na mistura. O traço relativo aos agregados presentes na formulação tem grande influência na trabalhabilidade, pois, quanto maior a quantidade de agregados na mistura, menor a coesão da formulação devido à falta de aglomerante.

2.7.2 Propriedades no estado endurecido

A análise da capacidade da argamassa resistir a esforços mecânicos como flexão e compressão, são de grande importância, visto que essas são as propriedades mais almejadas nos estudos envolvendo argamassas. Alcançar bons resultados em tais propriedades indica certo êxito no rumo das formulações que estão sendo produzidas. Com base na Tabela 1 é possível classificar uma argamassa experimental após a realização dos ensaios de compressão axial (NBR 13279), absorção de água (NBR 13277) e índice de vazios (NBR 13278).

Tabela 1- Classificação dos tipos de argamassas

Requisitos	Limites	Tipo de argamassa
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) (NBR 13 279 /95)	$\geq 0,1$ e < 4	I
	≥ 4 e ≤ 8	II
	> 8	III
Capacidade de retenção de água (%) (NBR 13 277 /95)	≥ 80 e ≤ 90	Normal
	> 90	Alta
Teor de ar incorporado (%) (NBR 13 278 /95)	< 8	a
	≥ 8 e ≤ 18	b
	> 18	c

Fonte: NBR 13 281 (2005)

2.8 Utilização de resíduos na construção civil e na indústria têxtil

Segundo Cavalcante e Cheriaf (1996), a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novos materiais para a construção civil, tem sido cada vez mais desenvolvida em diferentes linhas de pesquisa. Dentre estas linhas pode-se citar: reaproveitamento das cinzas (carvão, casca de arroz, bagaço de cana), da areia de fundição, dos lodos de estações de tratamentos, do rejeito da produção do ácido fosfórico, dos entulhos da construção civil, dos rejeitos de minas de carvão, dentre outros, uma abordagem voltada ao desempenho estrutural do novo produto.

A incorporação de resíduos sólidos industriais em matrizes sólidas, tais como argila cerâmica, argamassas de cimento e de concreto, produzindo-se materiais utilizáveis na construção civil, consiste em uma alternativa de reaproveitamento do resíduo. Com relação à argila cerâmica, ela pode ser moldada facilmente, pela sua alta plasticidade, apresentando resistência estrutural e estabilidade aos seus constituintes da massa, após a queima em fornos de indústrias cerâmicas (CUSIDÓ; CREMADES, 2012).

Algumas pesquisas foram realizadas para diminuir o impacto do lodo gerado pelas lavanderias industriais, utilizando técnicas que incorporam resíduos industriais em matrizes solidificantes, reduzindo a mobilidade destes resíduos. Aplicações na construção civil são destacadas. Em resumo, os parâmetros que influenciam o processo de inertização são, em ordem de importância: o tipo de argila, a quantidade do lodo incorporado, a temperatura de calcinação e o estado de aglomeração da peça (CUSIDÓ; CREMADES, 2012).

Pietrobon et al. (2004) também estudaram a estabilização dos componentes do lodo, incorporando-o em cimento. Os corpos de prova de lodo/cimento, nas dosagens de 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento, foram submetidos à análise de resistência a compressão, tempo de pega e testes de lixiviação por batelada. De forma geral, a presença do lodo na matriz sólida da pasta de lodo/cimento alterou de forma negativa a estrutura da mesma, mas não de forma crítica. Os resultados estão dentro das faixas previstas, de acordo com as normas especializadas para produtos da construção civil, tais como: tijolos, blocos vazados simples e com função estrutural.

Almeida et al (2011) verificaram a resistência à compressão e absorção de água, de acordo com a NBR 15270-3/2005, em blocos cerâmicos acústicos, fabricados com a incorporação de lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de solidificação/estabilização. Depois de realizados os experimentos, foram adotados o limite de 20% de lodo a ser incorporado na massa cerâmica, uma vez que os valores de resistência à compressão e absorção de água ficaram dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Herek et al. (2009) mostraram que blocos cerâmicos com 10% de lodo incorporado à argila apresentaram valores de resistência superiores aos dos blocos confeccionados somente com argila. Outras aplicações foram apontadas pelos mesmos autores. Em um estudo, foram fabricados tijolos de vedação com até 20% de resíduos de lavanderias industriais incorporados em argila. Já em outro trabalho, foi avaliada a incorporação do lodo na fabricação de blocos cerâmicos de vedação, obtendo resultados dentro dos limites preestabelecidos, para 20% de lodo.

Oliveira e Holanda (2008) avaliaram o resíduo (lodo) gerado por uma ETA da região de Campos dos Goytacazes-RJ. Com essa meta, foram estudadas as características mineralógica e físico-químicas do resíduo da ETA, visando seu aproveitamento como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha. Os resultados obtidos indicam claramente que o resíduo da ETA pode ser utilizado como constituinte de massa argilosa para fabricação de cerâmica vermelha.

Um fator observado por Monteiro et al. (2008) foi a influência da temperatura de queima sobre as propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha feitas de uma argila caulínica incorporada com um lodo de estação de tratamento de água. Os resultados indicam que a incorporação da lama aumenta a absorção de água e reduz a resistência mecânica do material cerâmico. Esta é uma consequência das mudanças provocadas na

porosidade, a perda de peso relativamente elevada durante a fase de aquecimento. No entanto, a incorporação do lodo deve ser feita em pequenas quantidades.

Uma das preocupações com a incorporação de lodo, de qualquer estação de tratamento em material cerâmico, é o efeito que possam causar ao meio ambiente. Para verificar a toxicidade e a lixiviação desses resíduos, Cusidó e Cremades (2012) estudaram a incorporação de lodo de estação de tratamento de água em material cerâmico. Não houve variação significativa de propriedades quando analisadas argilas e lodos diferentes, sugerindo que o processo de inertização do lodo em material cerâmico pode ser utilizado sem afetar a saúde dos usuários do produto final.

2.9 Impacto financeiro e sustentável

A reciclagem da água oferece inúmeros benefícios. Além de fornecer um abastecimento de água seguro e localmente controlado, proporciona enormes benefícios ambientais, ao subsidiar uma fonte adicional de água. Outros benefícios incluem a redução de esgoto lançado no meio ambiente, diminuindo, com isso, os níveis de poluição (VILAÇA; OLIVEIRA, 2011; LESSA FILHO, 2005).

Plantas, animais selvagens e peixes dependem dos fluxos de água suficiente em seu habitat para viverem e se reproduzir. A falta de fluxo adequado, como resultado do desvio para fins agrícolas, urbanos e industriais, pode causar a deterioração da qualidade da água e da saúde dos ecossistemas. A reciclagem pode ajudar os pesquisadores a encontrar maneiras de reduzir o desvio desse recurso natural dos ecossistemas sensíveis. Em alguns casos, o impulso para que se adote a reciclagem da água não vem de uma necessidade de abastecimento, mas de uma consciência voltada à sustentabilidade que visa eliminar ou diminuir a descarga de resíduos para o mar, estuários ou riachos (VILAÇA; OLIVEIRA, 2011; LESSA FILHO, 2005).

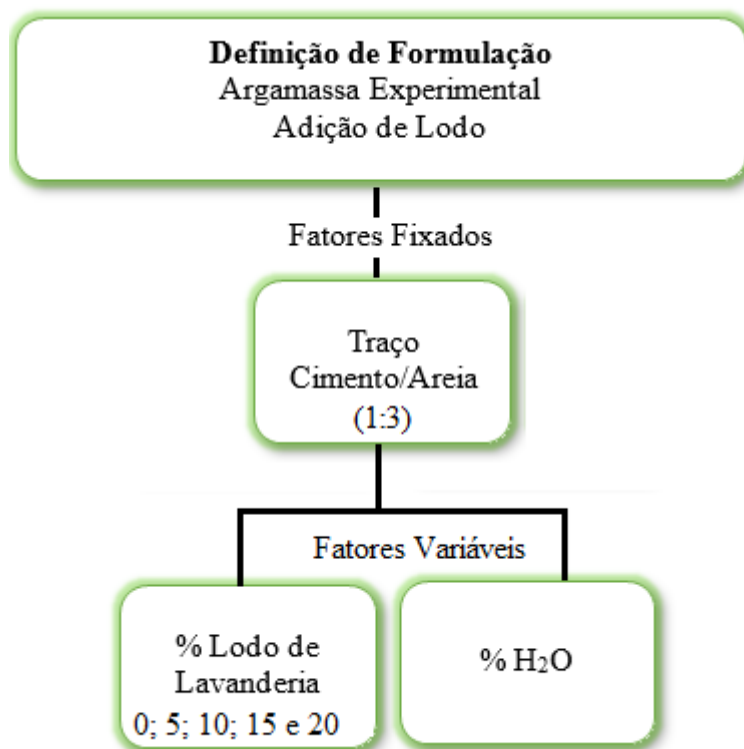
Porém, a reciclagem de água no setor de lavagem de roupas ainda é insipiente e, quando realizada, aplicada para fins menos nobres dentro do setor. Os resíduos que restam do processo de extração da água, por sua vez, necessitam serem encaminhados para um aterro específico devido à grande quantidade de substâncias prejudiciais ao meio ambiente. O alto custo destes aterros específicos surge oportunidades para o emprego do resíduo em ramos da construção civil para viabilidade da prática no setor de lavagem industrial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo serão apresentados os materiais, métodos e equipamentos utilizados para o desenvolvimento de argamassas com as diferentes adições de lodo têxtil. Para uma completa análise dos efeitos causados pelo lodo têxtil nas amostras, um plano experimental foi elaborado objetivando caracterizar as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

A definição das formulações empregadas no estudo é apresentada na Figura 8. Como um dos objetivos do presente trabalho é avaliar o impacto proporcionado pelo lodo têxtil na argamassa experimental, procurou-se fixar os valores do cimento e da areia e variar a quantidade de água e lodo têxtil presente na argamassa experimental.

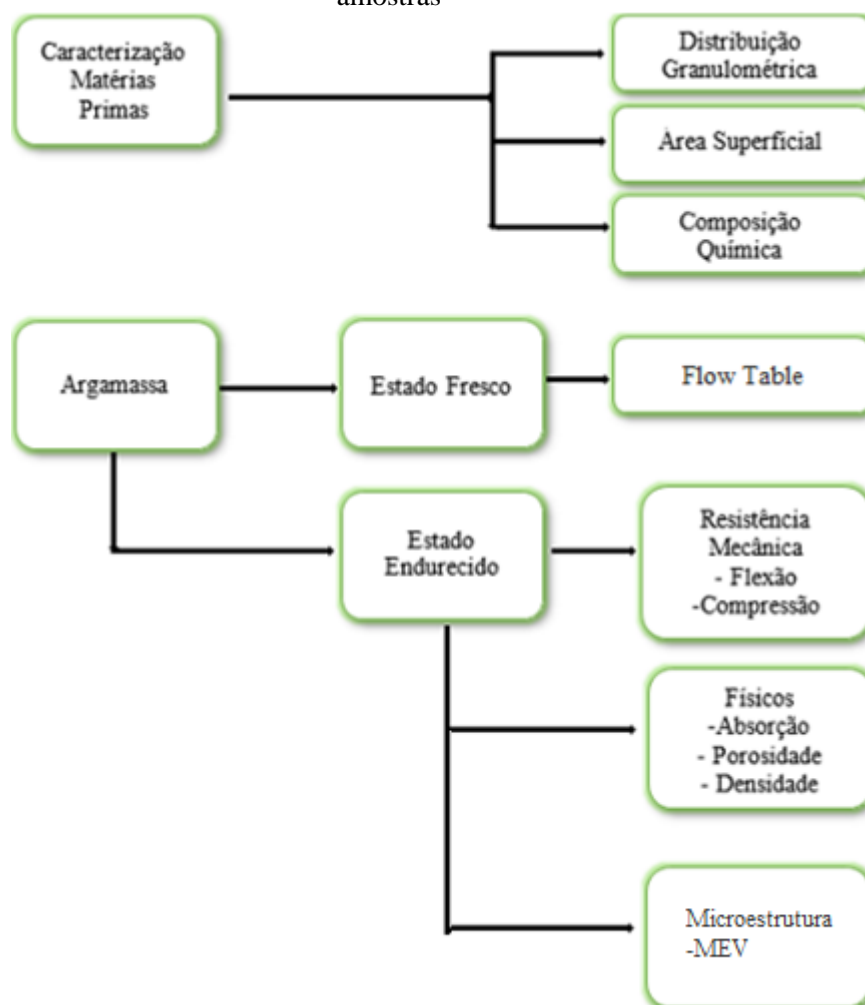
Figura 8 - Composição dos materiais presentes na argamassa experimental em estudo



Fonte: Produzido pelo autor.

Após a definição das formulações, o plano experimental elaborado prevê uma série de caracterizações no estado fresco e endurecido da argamassa. Isto é necessário para se ter um mapa completo da influência que o lodo têxtil tem nas amostras. A Figura 9 apresenta a sequência de todas as caracterizações realizadas nos corpos de prova obtidos no estudo.

Figura 9 - Plano experimental contendo os ensaios para caracterização das matérias primas e amostras



Fonte: Produzido pelo autor.

A produção dos corpos de prova foi conduzida nos Laboratórios de Materiais de Construção e Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável, ambos localizados na Universidade Federal de Santa Catarina, em Joinville. Para caracterização dos corpos de prova, alguns ensaios foram conduzidos no Departamento de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Santa Catarina – Unidade Joinville e pelo Departamento de Engenharia Mecânica da UDESC – Unidade Joinville.

Ao todo, foram produzidos 15 corpos de prova prismáticos no padrão 4x4x16cm, sendo 3 réplicas de cada formulação para 28 dias de cura.

3.1 Materiais

Pressupondo a elaboração de uma argamassa padrão, sua composição é formada por um material cimentício, sendo: água, cimento e areia. Para o presente estudo, procurou-se adicionar o lodo têxtil para analisar os efeitos causados pelo menos na nova composição. Neste sentido, a argamassa elaborada no presente trabalho, é composta dos seguintes materiais:

- Cimento Portland Composto Fíler (CP II – F – 32);
- Lodo têxtil;
- Solução ativadora de H_2O como agente ativador alcalino;
- Areia média.

A Figura 10 apresenta uma imagem de todas as matérias primas utilizadas para a produção da argamassa experimental obtida no presente trabalho.

Figura 10 - Matérias primas utilizadas na preparação da argamassa experimental: a) CP II – F – 32, b) Lodo Têxtil, c) Areia Média, d) Solução H_2O .



Fonte: Produzido pelo autor.

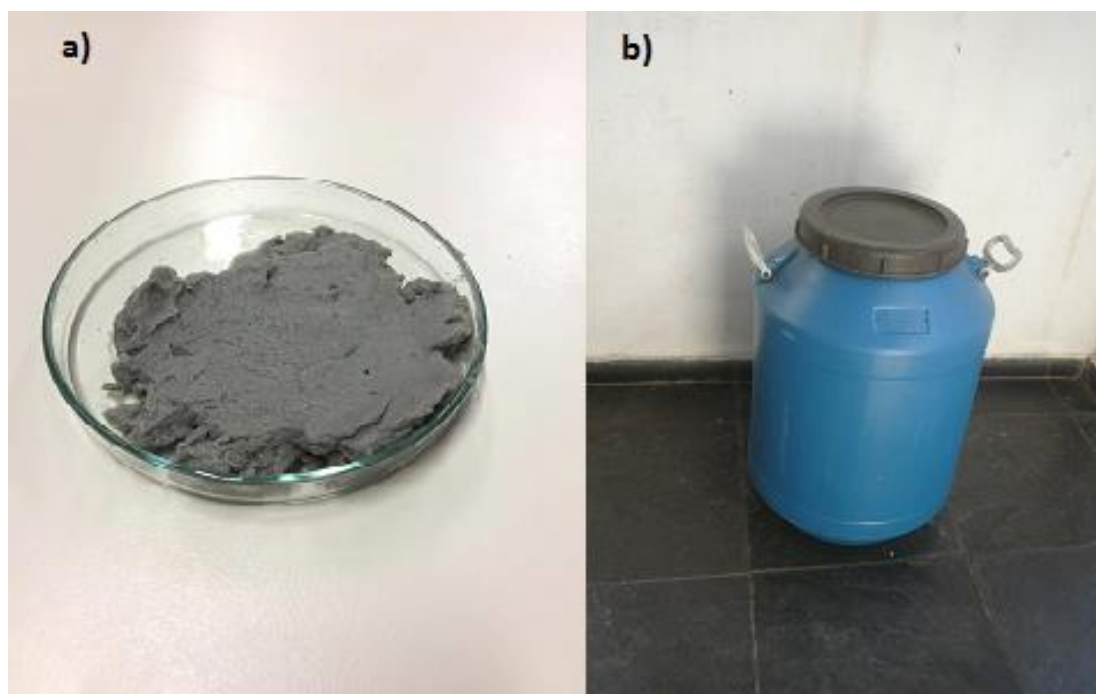
3.1.1 Argamassa Experimental

A argamassa utilizada neste trabalho foi desenvolvida pelo autor, e teve em todas as formulações a presença do lodo têxtil, solução ativadora (H_2O), CP II – F – 32 e areia média. Produziu-se 1 formulação de referência, ou seja, sem a incorporação de lodo têxtil, e outras 4 com teores de 5, 10, 15 e 20% de lodo têxtil.

3.1.2 Coleta e caracterização do lodo têxtil

O lodo têxtil utilizado no trabalho foi adquirido de uma lavanderia industrial da região de Joinville-SC, que utiliza o método de lodo ativado para tratar seus efluentes. Esses resíduos são derivados do processo de tratamento de efluentes das lavanderias industriais, apresentando uma consistência pastosa, ao ser retirado na fase de decantação (tratamento primário). O lodo utilizado foi coletado no leito de secagem da lavanderia industrial têxtil, apresentado na Figura 11, armazenado em tambores de polietileno, com tampa de fecho hermético e capacidade de 50Kg de amostra.

Figura 11 - a) Lodo Têxtil; b) Tambor de polietileno com tampa de fecho hermético



Fonte: Produzido pelo autor.

A composição química foi determinada por Fluorescência de Raio-X (FRX), usando um espectrômetro EDX 700 Shimadzu (Figura 12), pelo Departamento de

Engenharia Mecânica da UDESC – Unidade Joinville. A análise por FRX foi escolhida para realizar a caracterização química dos materiais, pois é uma técnica que permite identificar e quantificar a presença de elementos importantes dentro do lodo têxtil.

Figura 12 – Espectrômetro EDX 700 Shimadzu



Fonte: (VIEIRA, 2010).

A análise por fluorescência de raios-X pode ter fins qualitativos ou quantitativos e se baseia na medição das intensidades dos raios-X característicos. São emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X (MELO JÚNIOR, 2007).

A FRX baseia-se na produção e detecção de raios-X, radiações eletromagnéticas de alta frequência com comprimento de onda na faixa de 0,003 a 3nm, característicos, produzidos pelo fenômeno fotoelétrico, emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiada com elétrons, prótons, raios-X ou gama com energias apropriadas. A radiação eletromagnética incidente interage com a amostra, podendo ocorrer absorção, emissão e espalhamento de radiação eletromagnética (SKOOG et al., 2009). Quando os elétrons da camada mais interna do átomo (por exemplo, K e L) interagem com fótons com energia na região dos raios-X, pode ocorrer a foto ejeção

desses elétrons, criando-se uma vacância. Para promover a estabilidade, ocorre imediatamente o preenchimento das vagas eletrônicas por elétrons das camadas mais próximas. Como resultado, há um excesso de energia no processo, que é manifestado na forma de emissão de raios-X característicos de cada átomo presente na amostra (JENKINS, 1999).

O lodo têxtil quanto a sua composição física, foi caracterizado quanto ao teor de umidade e matéria orgânica total (Método Kiehl, 1985), massa específica (método do picnômetro), pH (método APHA, 2005). A Tabela 2 apresenta a caracterização física do lodo têxtil seguindo os parâmetros descritos acima (GALASSI, 2010).

Tabela 2 - Caracterização física do lodo têxtil

Parâmetros	Lodo
Aspecto	Levemente Úmido
pH	6,52
Massa específica (g.cm ⁻³)	1,92
Matéria orgânica total (%)	42,20
Umidade (%)	20,73

Fonte: (GALASSI, 2010).

3.1.3 Cimento Portland Composto de Fíler (CP II – F – 32)

O cimento utilizado no presente trabalho foi fornecido pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC – CTJ (Figura 13), tendo em vista a utilização de um material comum na construção civil, suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento. O CP II – F – 32 tem adição de fíler calcário, uma matéria prima obtida através de minerais com basalto e calcário, em teor entre 6 e 10%, e não é o mais indicado para aplicação em meios muito agressivos. Essa adição deixa os concretos e as argamassas mais fáceis de trabalhar, pois suas partículas possuem dimensões apropriadas para encaixar nas partículas dos demais componentes do cimento.

Figura 13 - a) CP II – F – 32; b) Recipiente de armazenagem do CP II – F – 32



Fonte: Produzido pelo autor.

A composição química do CP II – F – 32 (Tabela 3) é especificada pela empresa ITAMBÉ no dia em que o material é expedido pela empresa. Dentre as caracterizações, as mais importantes seriam a perda ao fogo, no qual a NBR NM 18 determina a perda de massa por calcinação a 950°C, indicando o início de hidratação e presença de CaCO_3 . A quantidade de óxido de cálcio livre é decorrente da não combinação integral das matérias primas durante a clinquerização. A quantidade de resíduo insolúvel, que indica a quantidade de componentes não-hidráulicos no cimento e a quantidade de equivalente alcalino que de acordo com a NBR 14656, são expressadas pela quantidade de Na_2O e K_2O , servindo como controladores de compostos expansivos.

Tabela 3 - Composição Química CP II – F – 32

Data	Químicos									
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
01	4,23	18,50	2,90	60,32	4,17	2,74	4,68	0,53	1,00	0,67
03	4,33	18,82	3,04	61,28	4,12	2,79	4,76	0,53	1,10	0,69
07	4,30	18,53	2,89	60,36	3,85	2,79	4,82	0,50	1,02	0,66
09	4,39	18,86	3,04	60,75	3,55	2,87	4,85	0,48	1,06	0,67
11	4,25	18,61	2,94	60,41	3,94	2,82	4,79	0,53	1,07	0,67
15	4,26	18,52	3,02	60,63	3,94	2,91	4,83	0,50	1,09	0,68
17	4,43	18,77	2,97	59,31	3,75	2,84	4,87	0,48	1,80	0,69
21	4,21	18,64	2,98	60,78	3,99	2,83	4,79	0,50	1,21	0,68
23	4,15	18,40	2,97	60,54	3,83	2,83	4,78	0,48	1,10	0,68
25	4,20	18,70	3,01	60,88	3,85	2,85	4,69	0,53	1,40	0,70
29	4,16	18,65	3,02	60,74	3,88	2,83	4,82	0,48	1,00	0,68
31	4,24	18,64	2,98	60,30	3,97	2,82	4,85	0,50	1,11	0,66
Média	4,26	18,64	2,98	60,53	3,90	2,83	4,79	0,50	1,16	0,68
Sd	0,09	0,14	0,05	0,47	0,16	0,04	0,06	0,02	0,23	0,01
Min	4,15	18,40	2,89	59,31	3,55	2,74	4,68	0,48	1,00	0,66
Max	4,43	18,86	3,04	61,28	4,17	2,91	4,87	0,53	1,80	0,70

Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/>

As propriedades físicas do CP II – F – 32 (Tabela 4) são especificadas pela empresa ITAMBÉ no dia em que o material é expedido. As principais caracterizações são, expansibilidade à quente, tempo de pega, consistências normal e Blaine. A caracterização de Blaine é realizada de acordo com a NBR NM 76, uma superfície específica é determinada através de um aparelho chamado de permeabilímetro, no qual, caracteriza a finura que influi no grau de atividade do cimento. A massa específica média do CP II – F – 32 ITAMBÉ é 3,08 g/cm³ (NBR NM 23).

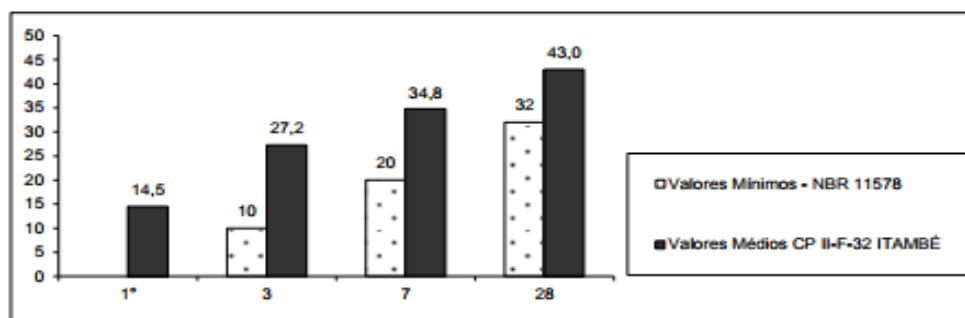
Tabela 4 - Propriedades Físicas do CP II – F – 32 obtidas pela empresa ITAMBÉ

Exp. Quente	Físicos									
	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
mm	h : min	h : min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
0,00	03:25	04:15	26,2	3.270	4,10	16,40	14,3	26,5	35,4	43,1
0,00	03:35	04:15	26,4	3.250	4,20	16,30	14,1	25,6	34,1	43,3
0,50	03:40	04:15	26,0	3.200	5,30	17,30	14,3	25,8	33,1	43,2
0,50	03:40	04:15	26,3	3.240	3,30	14,40	14,9	27,4	35,4	43,3
0,00	03:45	04:30	26,0	3.230	2,90	13,60	15,3	28,0	36,4	43,2
0,50	03:50	04:30	26,4	3.260	3,10	13,30	14,3	27,0	35,1	41,7
0,00	03:50	04:30	26,1	3.290	3,00	13,60	14,5	27,4	35,9	43,4
0,00	04:05	05:00	26,5	3.190	3,10	14,50	14,6	28,5	34,9	-
0,50	03:40	04:30	26,8	3.290	3,00	13,50	14,6	28,0	34,4	-
1,00	03:50	04:30	26,0	3.220	3,40	15,10	14,1	28,3	34,9	-
0,50	03:50	04:30	26,4	3.250	3,30	13,30	15,0	27,1	33,1	-
0,50	04:00	04:45	26,2	3.200	3,60	14,60	14,6	27,1	34,6	-
0,33	03:46	04:29	26,3	3.241	3,53	14,66	14,5	27,2	34,8	43,0
0,33	00:11	00:14	0,2	33,97	0,70	1,36	0,4	0,9	1,0	0,6
0,00	03:25	04:15	26,0	3.190	2,90	13,30	14,1	25,6	33,1	41,7
1,00	04:05	05:00	26,8	3.290	5,30	17,30	15,3	28,5	36,4	43,4

Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/>

A classe II especificada na nomenclatura do CP II – F – 32, refere-se ao valor mínimo de resistência à compressão axial que o material necessita resistir de acordo com a NBR 11578, sendo para o cimento utilizado neste trabalho igual a 32 MPa (Figura 14).

Figura 14 - Resistência à compressão CP II – F – 32



Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/>

3.1.4 Areia Média

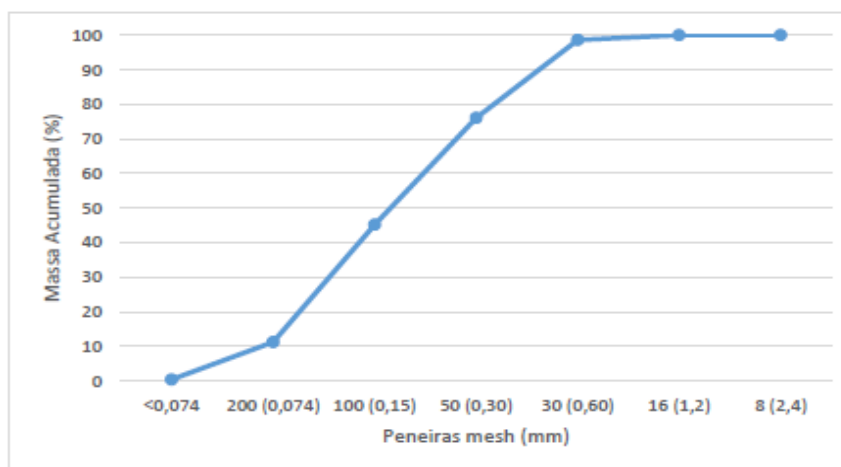
Uma imagem ilustrativa da areia utilizada é apresentada na Figura 15, tendo sido fornecida pelo Laboratório de Materiais de Construção da UFSC, CTJ. O agregado utilizado na composição dos traços foi uma areia fornecida pela empresa Supremo. A granulometria desta areia foi determinada utilizando um peneirador de areias vibratório juntamente com peneiras nos tamanhos 0,074, 0,15, 0,3, 0,6, 1,2 e 2,4 mm (Figura 16). A amostra apresentou teor de umidade inferior a 0,1%. Optou-se por utilizar areia comercial e não experimental para o desenvolvimento do presente trabalho, a fim de tornar a argamassa mais próxima daquela utilizada na construção civil.

Figura 15 - Areia média usada para produção da argamassa



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 16 - Distribuição granulométrica da areia média



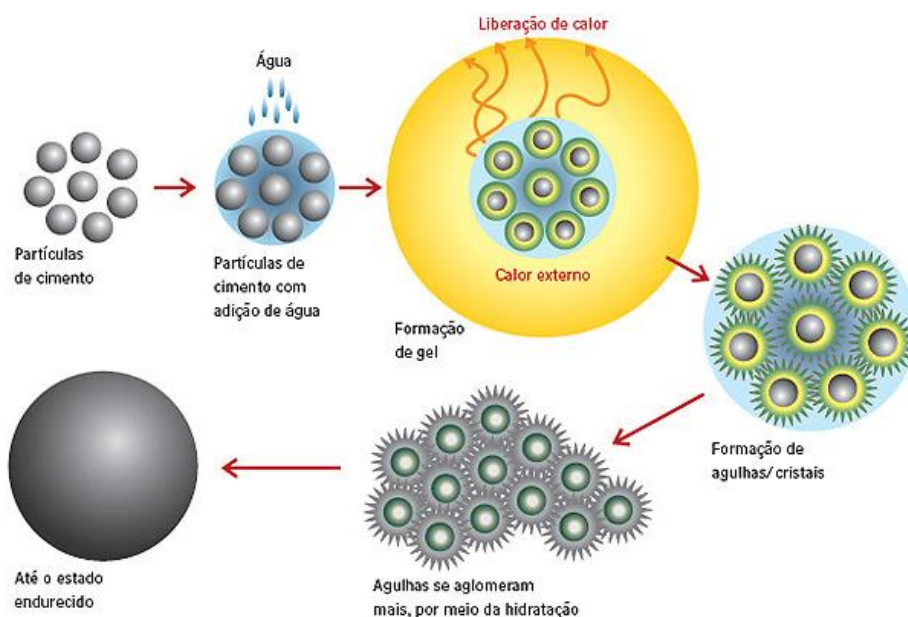
Fonte: LEITE (2016).

De acordo com a NBR7214 a areia utilizada possui 1,4% de fração grossa, 23% da fração média-grossa, 31% da fração média fina e 34% da fração fina. Além das frações previstas em norma, o agregado utilizado possui 11,2% de material passante na peneira 1,2 mm (LEITE, 2016).

3.1.5 Solução ativadora (H₂O)

A água funciona como solução ativadora no processo de endurecimento da argamassa experimental, sendo que, após a hidratação do CP-F-32, os silicatos e aluminatos formam silicato de cálcio hidratado. O início da aglomeração é caracterizado pelo processo de hidratação do cimento, no qual há a formação de agulhas que são responsáveis pelo início de pega e desenvolvimento da resistência inicial. A reação de hidratação é um processo exotérmico, ou seja, durante a reação do cimento com a água há liberação de calor. A quantidade de calor liberado é chamada de calor de hidratação e é bastante importante para a evolução das resistências. Na Figura 17 é apresentando um esquema ilustrativo com o processo de hidratação do Cimento Portland.

Figura 17 – Ilustração demonstrando o processo de aglomeração do cimento até o estado endurecido.



Fonte: NEVILLE, (1997).

Segundo Aitcin (2000), as fases dos silicatos e dos aluminatos hidratados começam a criar algumas ligações internas, que resulta no endurecimento progressivo da pasta. Após algumas horas, ocorre a redução da velocidade à reação. Isto deve-se ao fato de que alguns grãos de cimento que não reagiram estarem cobertos por uma camada de hidratos (que se torna cada vez mais espessa com o passar do tempo), camada esta que dificulta as moléculas de água chegarem às partes não hidratadas (NEVILLE, 1997).

3.2 Métodos

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira relacionada com a determinação das formulações, produção das misturas e no tempo de cura. A segunda parte refere-se aos ensaios de caracterização propostos. Esta etapa é importante para que sejam definidas qualitativamente as amostras e, conseqüentemente, possa ser gerado o maior entendimento sobre os efeitos criados, principalmente pela adição do lodo têxtil na argamassa.

3.2.1 Definição e produção das amostras

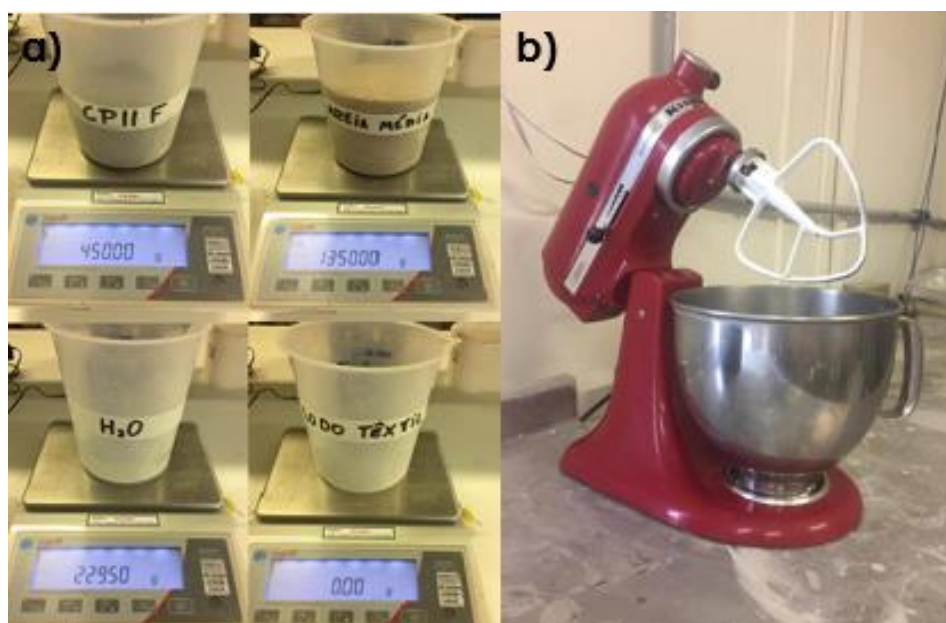
Conhecida a composição química de todas as matérias primas, uma formulação foi proposta para que atenda as propriedades físicas e químicas e se encaixem nas diversas relações propostas pela literatura. Levando em conta todos estes parâmetros, a argamassa REF foi obtida, como apresentada na Figura 18. A partir da referência, cinco formulações com diferentes adições de lodo têxtil foram obtidas. As porcentagens de lodo têxtil utilizadas na mistura foram 0, 5, 10, 15 e 20% e a quantidade de água utilizada foi determinada pelo ensaio de mesa de consistência em função ao material seco apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição das formulações utilizadas na argamassa experimental

IDENTIFICAÇÃO TRAÇO (1:3)	TRAÇO			
	CP II - F - 32 (g)	AREIA (g)	H ₂ O (g)	LODO TÊXTIL (g)
Referência (0% LODO TÊXTIL)	450	1350	229,5	0
A - 5%	450	1350	240	90
B - 10%	450	1350	264,9	180
C - 15%	450	1350	285	270
D - 20 %	450	1350	300	360

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 18 - a) argamassa de referência; b) misturador de pás mecânicas.



Fonte: Produzido pelo autor.

As amostras foram obtidas utilizando-se um tempo total de 10 minutos seguindo-se a sequência descrita abaixo:

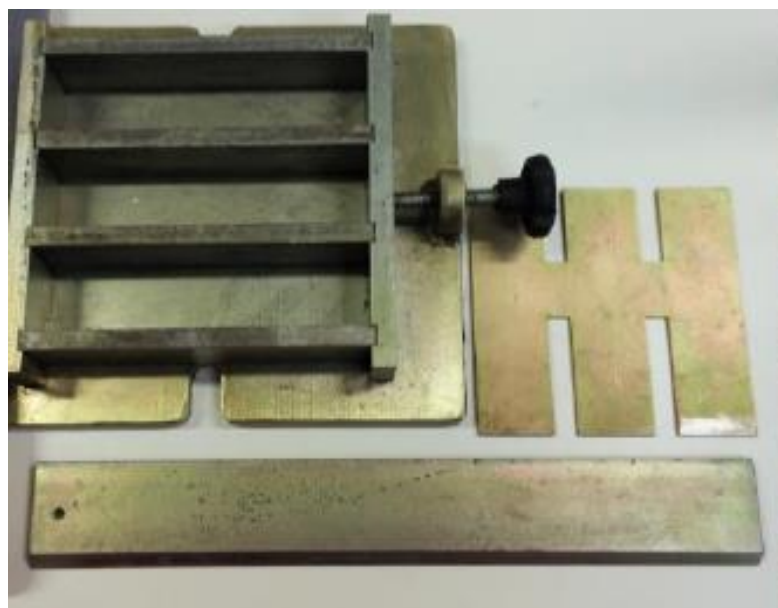
- (i) adicionar o cimento CP II – F – 32 em um saco plástico sem vazamento;
- (ii) adicionar a areia com uma granulometria média no saco, misturando as duas substâncias por 1,5 minutos;
- (iii) adiciona-se a solução ativadora (H_2O) dentro do recipiente metálico do misturador mecânico;
- (iv) dentro do recipiente metálico adiciona-se a quantidade estabelecida do lodo têxtil para melhor dissolução;
- (v) o material contido no saco sem vazamento é adicionado dentro do recipiente metálico e então o misturador com pás mecânicas é acionado a uma velocidade de 94 rpm por um período de 1,5 minutos;
- (vi) após o período de mistura é necessário desligar o equipamento e continuar a misturar os materiais manualmente com uma espátula para movimentar os materiais que ficam ao fundo do recipiente metálico por um período de 1,5 min;
- (vii) novamente o misturador é acionado com velocidade de 94 RPM por um período de 1 minuto de forma a garantir homogeneidade da mistura.

3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de provas foram conduzidas nos Laboratórios de Materiais de Construção e Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável, ambos localizados na Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ.

Os corpos de prova de dimensões 4x4x16cm foram moldados seguindo a NBR 13279:2005. Após o preparo da argamassa, com o molde já fixado à mesa de adensamento, introduziu-se em cada espaço do molde uma porção de argamassa equivalente à metade do volume reservado, sendo utilizado o lado maior do nivelador de camadas para formar uma camada uniforme, como apresentada na Figura 19.

Figura 19 - Molde para confecção dos corpos de prova, nivelador de camadas e régua metálica.



Fonte: Produzido pelo autor.

Em seguida, aplicou-se 30 quedas através da mesa de adensamento, então foi completado o volume restante dos espaços dos moldes, utilizando o lado menor do nivelador de camadas, aplicou-se novamente as 30 quedas através da mesa de adensamento, e por fim os moldes foram nivelados na parte superior com uma régua metálica, apresentados pela Figura 20.

Figura 20 - a) Imagem ilustrativa de um Contador de Golpes Automático; b) Mesa de adensamento por queda para argamassas – utilizada para fabricação dos CP's



Fonte: Produzido pelo autor.

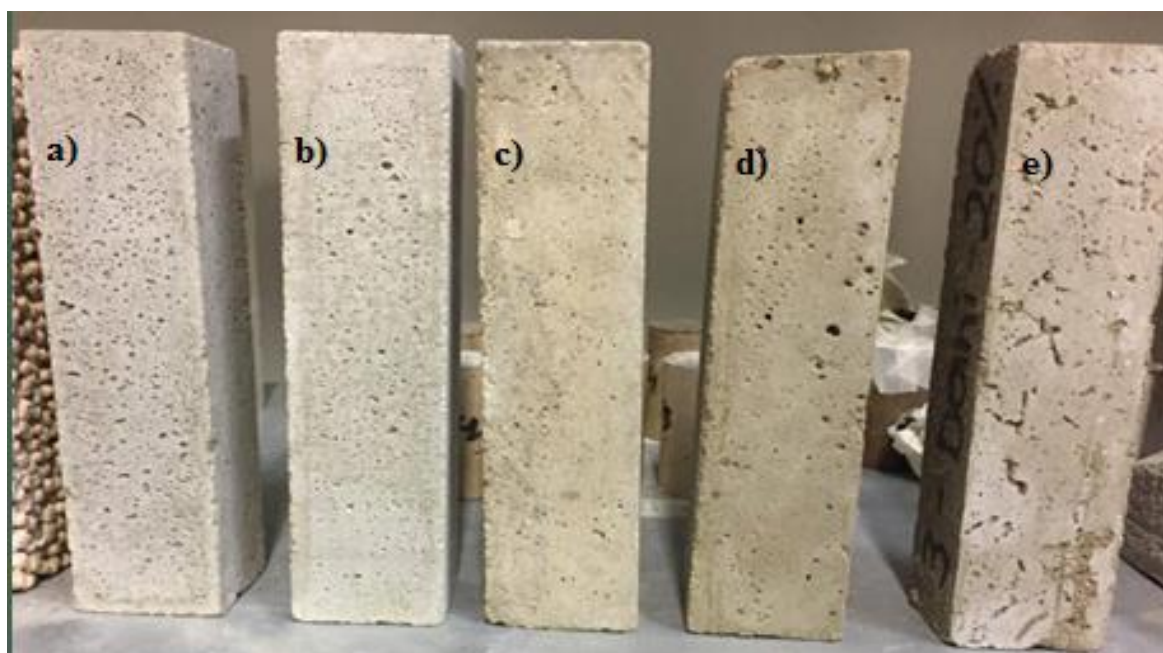
Os corpos de prova permaneceram no molde em temperatura ambiente por 24 horas, apresentados na Figura 21, sendo então desmoldados, e organizados em um espaço reservado para a fase de cura por um período de 28 dias. A Figura 22 apresenta os corpos de prova desconformados após os 24 horas de secagem.

Figura 21 - Corpos de prova no processo de secagem a temperatura ambiente



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 22 - Corpos de prova desconformados e organizados para período de 28 dias de cura, a) 0%; b) 5%; c) 10%; d) 15%; e) 20%.



Fonte: Produzido pelo autor.

3.2.3 Ensaio Mesa de Consistência (Flow Table Test)

O ensaio de mesa de consistência foi conduzido nos Laboratórios de Materiais de Construção e Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável, localizados na Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ.

O ensaio de espalhamento FTT foi feito de acordo com a NBR 13276 – 2002, consistindo primeiramente na limpeza prévia do tampa da mesa e do molde tronco cônico com esponja ou pano umedecido de forma a tornar as superfícies ligeiramente úmidas. Após a preparação da argamassa, colocou-se o molde no centro da mesa de índice de consistência, que foi preenchido em três camadas iguais de material, aplicando respectivamente 15, 10 e 5 golpes com o soquete, com o objetivo de preenchê-las uniformemente. Após o preenchimento, o molde foi nivelado e, então, retirado, ficando apenas a argamassa para que fossem feitos os 30 golpes em 30 segundos. Por fim, registrou-se 3 medidas de diâmetro do espalhamento da argamassa, obtendo-se a média destas medidas.

A Figura 23, apresenta os equipamentos necessários para realização do teste de consistência de mesa, sendo que utensílios são feitos de metal de fácil higiene e resistentes a corrosão e a esforços mecânicos repetitivos.

Figura 23 - a) mesa para realização do FTT; b) molde tronco cônico; c) soquete; d) espátula para preenchimento do molde; e) espátula para nivelar o molde.



Fonte: Produzido pelo autor.

3.2.4 Propriedades mecânicas

Após a desmoldagem, os corpos de prova foram colocados em repouso em temperatura ambiente até o período de rompimento. Foram efetuados ensaios de flexão e compressão para os 28 dias.

O procedimento experimental foi conduzido no laboratório de resistência dos materiais do Centro Universitário Católica de Santa Catarina – Joinville. Todo o procedimento teve o acompanhamento do Instrutor de Laboratório. O experimento foi efetuado em uma máquina universal para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão de modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada de marca INSTRON/EMIC. Suas principais características são: capacidade: 100kN (10000kgf); tipo: dupla coluna autoportante e acionamento através de fusos de esferas circulantes pré-carregados com sistema de colunas guias cilíndricas (EMIC, 2016).

Com isso, foram obtidas as propriedades mecânicas de compressão e flexão por meio da máquina de carga universal representada pela Figura 24(a). Para o ensaio de compressão foi utilizado um dispositivo semelhante ao da Figura 24(b), que realizou o rompimento de corpos de prova com dimensões de 4x4x4 cm. Para o ensaio de flexão um dispositivo semelhante ao da Figura 24(c), realizou o rompimento de corpos de prova com dimensões de 4x4x16 cm.

Figura 24 - (a) máquina de carga universal; (b) dispositivo para ensaio de compressão; (c) dispositivo para ensaio de flexão.



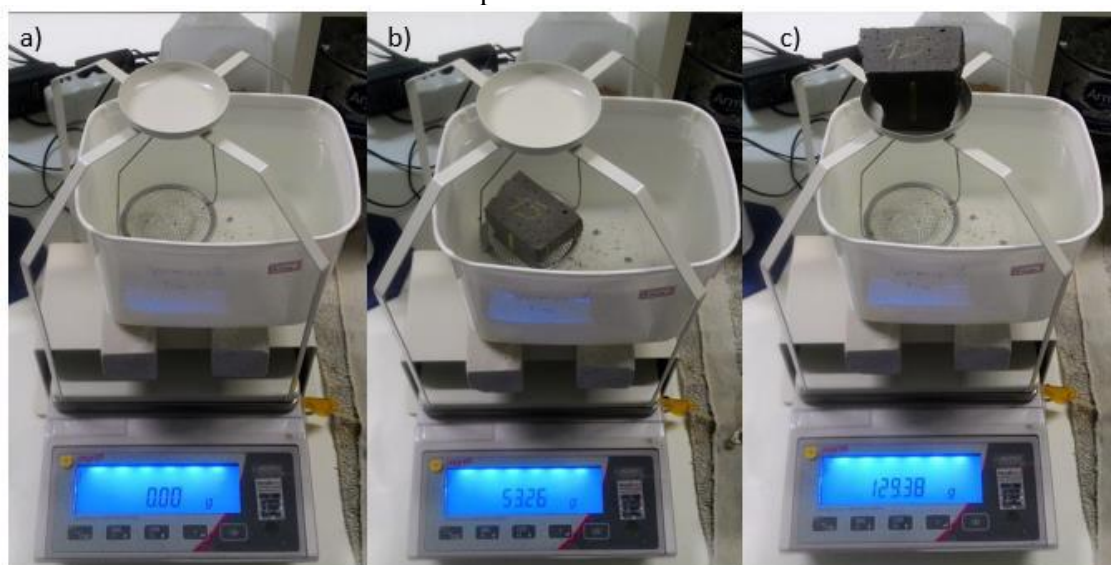
Fonte: Produzido pelo autor.

3.2.5 Propriedades físicas

Os ensaios de caracterização física (densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta) foram realizados após 28 dias de cura de modo a inter-relacionar com os resultados da resistência à compressão e flexão. O método escolhido segue o princípio de Arquimedes e o mesmo foi adotado por Pennings e Grellner (1989) na caracterização de materiais porosos. Este consiste basicamente em:

- Secagem das amostras (temperatura de aproximadamente $(103\pm 1)^{\circ}\text{C}$ e pesagem em uma balança analítica com precisão de 0,01g: (*ms*);
- Imersão dos corpos de prova em água por 72 horas, seguido da pesagem imersa (*mi*);
- Pesagem da amostra após secagem de sua superfície (*msss*).

Figura 25 - a) aparato para ensaio de Arquimedes; b) pesagem submersa; c) pesagem de superfície saturada.



Fonte: Produzido pelo autor.

A pesagem da massa seca dos corpos de prova foi feita sem a utilização dos aparatos, e ocorreu após os corpos de prova ficarem aproximadamente 24 horas em estufa a 100°C .

Após a coleta de todos os pesos, utilizando as equações Eq. 3, 4 e 5, é possível determinar a densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta das formulações (LEITE, 2016).

$$(Eq.3) \quad \rho_{ap} = \frac{ms}{m_{sss}-mi}$$

$$(Eq.4) \quad AH2O = \frac{m_{sss}-ms}{ms} * 100$$

$$(Eq.5) \quad Pab = \frac{m_{sss}-ms}{m_{sss}-mi} * 100$$

Onde:

ms = massa seca

mi = massa imersa

m_{sss} = massa saturada com superfície seca

3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O ensaio foi realizado na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, a microanálise eletrônica consiste na medida de raios-X característicos emitidos de uma região microscópica da amostra bombardeada por um feixe de elétrons. As linhas de raios-X característicos são específicas do número atômico da amostra e, o seu comprimento de onda ou sua energia podem ser utilizados para identificar o elemento que está emitindo a radiação. O modelo do equipamento utilizado pelo ensaio foi o VEGA3 TESCAN, apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Equipamento utilizado para o MEV



Fonte: <http://www.eos-do.com>

O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente apresentados por instrumentos comerciais, enquanto instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1 nm (NAGATANI et al. 1987).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados de caracterizações físicas e químicas do material em estudo e os resultados referentes aos ensaios realizados nas argamassas experimentais de lodo têxtil em estado fresco e endurecido.

4.1 Fluorescência de raio-x

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise de fluorescência de raio-x. Os resultados demonstram que os principais elementos metálicos presentes no lodo são o cálcio e o alumínio. A alta concentração desses elementos se dá devido a utilização de sulfato de alumínio como agente coagulante e o cal hidratado para corrigir o pH, durante os tratamentos dos efluentes realizados na lavanderia, que utiliza estes produtos na estação de tratamento dos efluentes.

Tabela 6 - Resultado quantitativo por fluorescência de raios x de elementos metálicos presentes no lodo têxtil

Metal	% na Amostra	Padrão
Al	17,0	Al ₂ O ₃
Ca	63,1	CaO
K	0,4	K ₂ O
Cl	0,2	Cl
S	4,1	SO ₃
P	2,2	P ₂ O ₅
Si	5,1	SiO ₂
Na	1,2	Na ₂ O
Mg	6,3	MgO
Fe	0,3	Fe ₂ O ₃
Sr	0,1	SrO

Fonte: Laboratório de Engenharia Mecânica (UDESC).

O óxido de alumínio também é predominante na composição química do lodo, juntamente com o óxido de magnésio, óxido de cálcio e também óxido de sílica. O lodo

possui uma composição mais diversificada e a alta concentração de óxido de magnésio e cálcio, pode estar relacionada à utilização destes produtos no processo de tratamento de efluentes da Empresa.

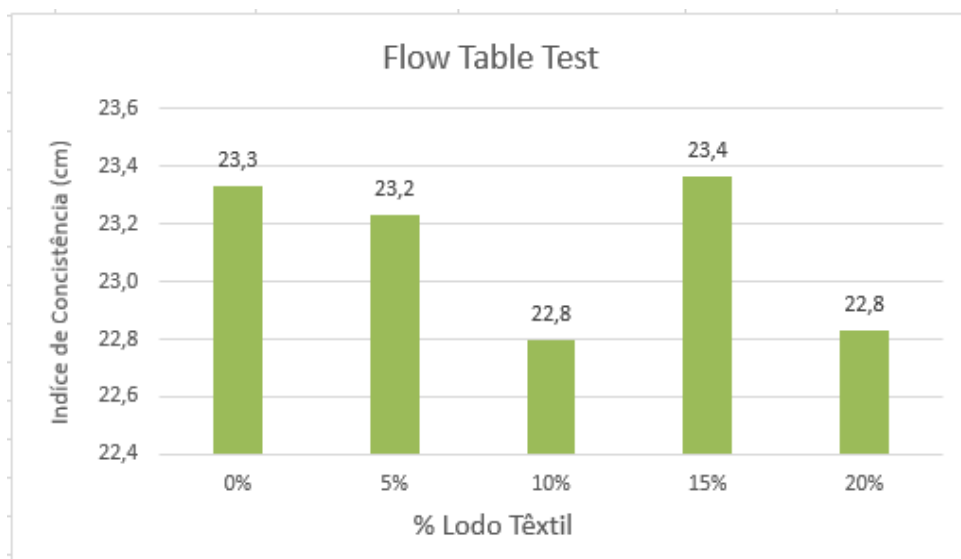
Segundo Herec (2009), o alumínio, ferro, sódio e o potássio são metais provenientes, do tratamento de efluentes têxtil que se fixam no resíduo sólido. Ainda segundo Herec (2005), o cálcio e o magnésio são provenientes do processo de lavagem da indústria têxtil, na qual a água apresenta altos teores de cálcio e magnésio, porém estes metais não são avaliados na norma NBR 10004.

Com a adição do lodo pode-se ter uma redução da resistência mecânica, devido a menor concentração de óxidos de sílicas, segundo Monteiro (2008), a presença desta constituinte tende a compensar na resistência. A concentração de óxido de alumínio encontrada no lodo, indica que o material possui características plásticas, podendo ser facilmente trabalhado. O lodo também possui alta concentração de óxidos de magnésio que por suas características devem propiciar ao material elevado ponto de fusão.

4.2 Trabalhabilidade

De acordo com a literatura, a relação sólido/líquido nas argamassas com adição de água e lodo têxtil, devem apresentar espalhamento de 230 ± 20 mm, de modo a uma trabalhabilidade aceitável. Não existe ainda uma norma para a trabalhabilidade de argamassa experimental, entretanto, os valores pré-estabelecidos são determinados por ensaios previamente realizados, observando a coesão da argamassa experimental para determinar uma consistência desejável. A Figura 27 apresenta os resultados obtidos pelo ensaio de mesa de consistência.

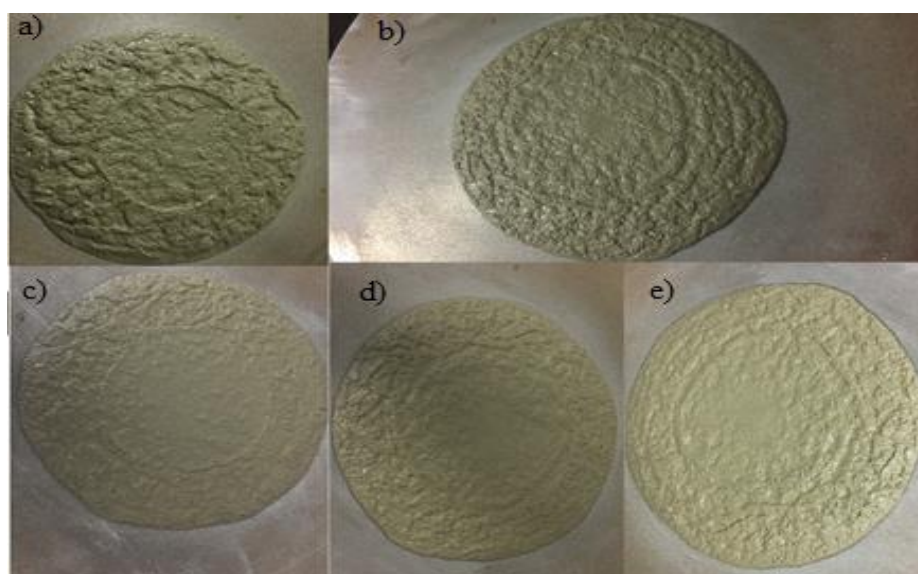
Figura 27 - Resultados obtidos pelo ensaio de mesa de consistência (Flow Table Test)



Fonte: Produzido pelo autor.

Os valores do índice de consistência foram obtidos logo após a produção das argamassas. Há uma tendência de que, com a adição do lodo têxtil, há um efeito de aumento de espalhamento em todas as amostras. Esta redução da viscosidade causada pelo lodo têxtil é explicada pela formação de bolhas no interior das amostras. Este fenômeno resulta em uma diminuição da interação entre as partículas sólidas e, consequentemente, na redução da viscosidade (NOVAIS, 2016). A Figura 28 apresenta a razão sólido/líquido nas diferentes adições de lodo têxtil.

Figura 28 - Ensaio de espalhamento para determinação da razão sólido/líquido a ser utilizada nas diferentes adições de lodo têxtil. a) REF; b) 5%; c) 10%; d) 15%; e) 20%.

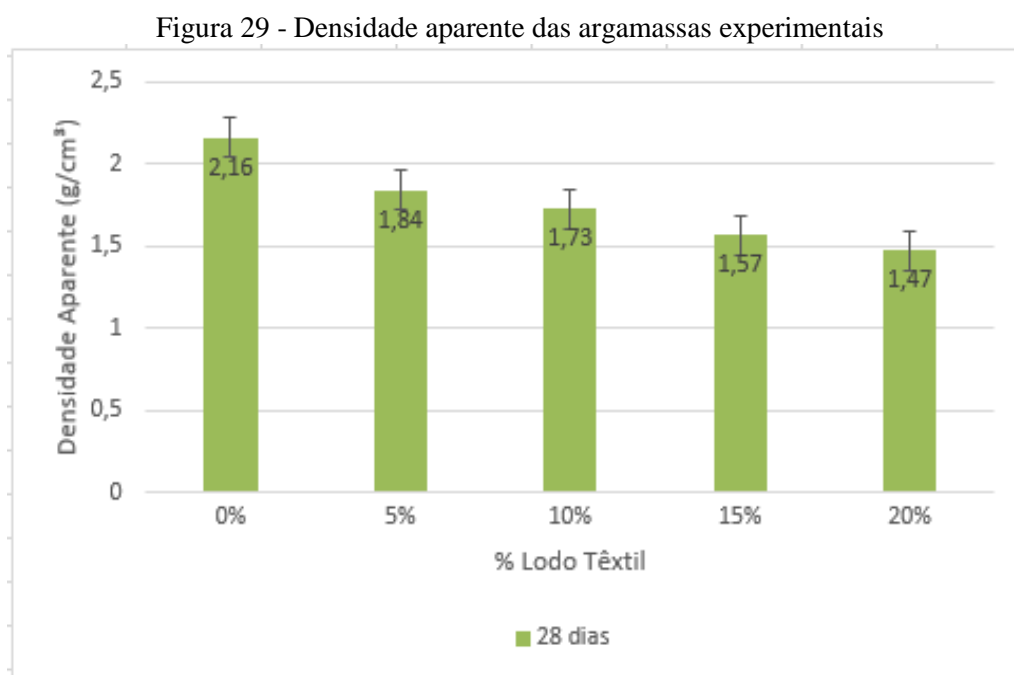


Fonte: Produzido pelo autor.

A importância de manter um espalhamento da argamassa com uma abertura 230 ± 20 mm, é necessária para manter uma coesão interessante na mistura, pois a falta de coesão da mistura pode acarretar a desagregação da argamassa no estado fresco, alterando sua composição física e sua homogeneidade (NEVILLE, 1997).

4.3 Densidade aparente

Os resultados da densidade aparente, apresentados na Figura 29, demonstram que com a adição do lodo têxtil, há uma redução da densidade da argamassa. A maior densidade foi obtida nas formulações de referência, sem o lodo têxtil na argamassa, apresentando uma densidade aparente máxima de $2,16 \text{ g/cm}^3$ e de $1,47 \text{ g/cm}^3$ para a amostra com 20% de adição de lodo têxtil, o qual representa um decréscimo de 32,25% da densidade aparente em relação a argamassa de referência. Todas as amostras foram analisadas após os 28 dias de cura.



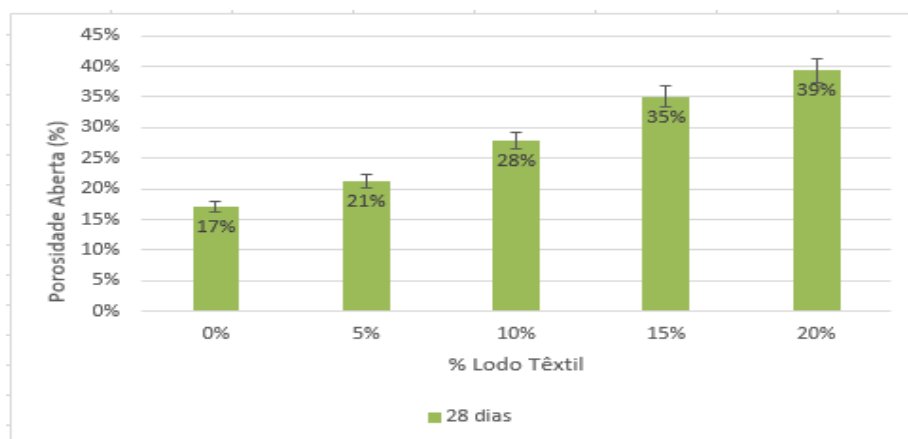
Fonte: Produzido pelo autor.

Os resultados podem ser aproximados de uma função de potência variando com mais intensidade inicialmente e tendendo a se estabilizar nas frações maiores.

4.4 Porosidade aberta

Foram obtidos os resultados de porosidade aberta para as formulações da argamassa experimental aos 28 dias de cura. De acordo com os resultados, apresentados na Figura 30, verifica-se que a porosidade aberta apresentou um resultado inversamente proporcional ao da densidade aparente, ou seja, os maiores percentuais foram encontrados nas formulações com menor densidade aparente.

Figura 30 - Porosidade aberta das argamassas com diferentes teores de lodo têxtil



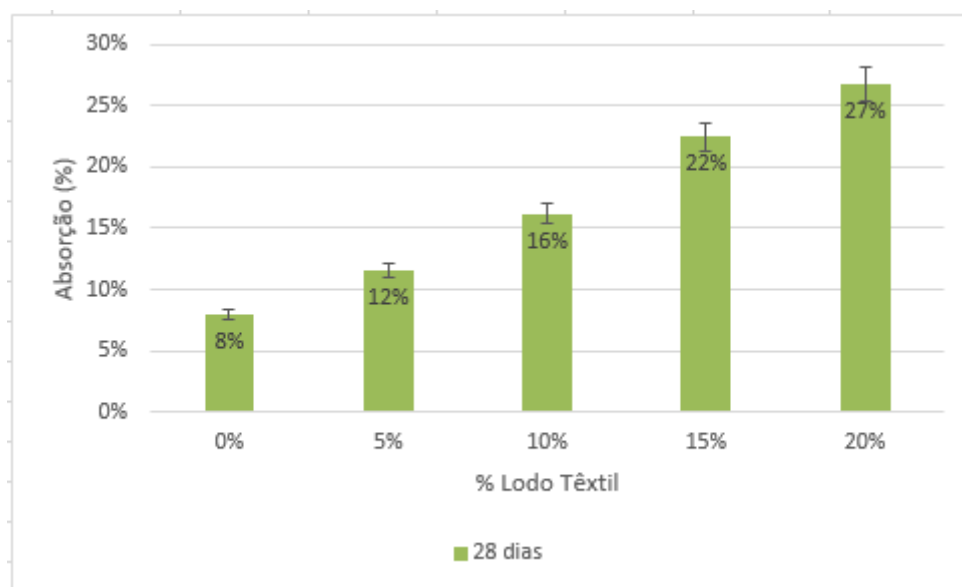
Fonte: Produzido pelo autor.

Os resultados de porosidade aberta são de grande importância, sendo que pode-se observar que as amostras com 10% de lodo têxtil tiveram um acréscimo de 65% em relação a amostra referência, e as com 20% de lodo têxtil um acréscimo aproximado de 130%.

4.5 Absorção de água

Foram obtidos os resultados de absorção de água para as formulações de argamassa experimental aos 28 dias de cura. Os resultados indicam que a absorção de água apresentou comportamento diretamente proporcional ao da porosidade aberta e inversamente proporcional ao de densidade aparente. Com a estabilização das argamassas aos 28 dias, as amostras possuem uma maior quantidade de poros nos quais a água não consegue infiltrar, gerando assim, uma matriz mais coesa.

Figura 31 - Resultados de absorção de água para argamassas com diferentes teores de lodo têxtil após 28 dias de cura.



Fonte: Produzido pelo autor.

Bem como a porosidade aberta, a formulação com 10% de lodo têxtil resultou em um aumento aproximado de 100% da absorção de água em relação a amostra de referência, e a formulação com 20% de lodo têxtil apresentou um aumento aproximado de 237,5%.

É possível observar que as duas propriedades, porosidade aberta e absorção de água, são diretamente proporcionais entre si, seguindo um comportamento aproximadamente linear. Essa relação é justificada por Rato (2006) apud Silva (2015) na qual relata que materiais porosos possuem maior absorção de água por capilaridade.

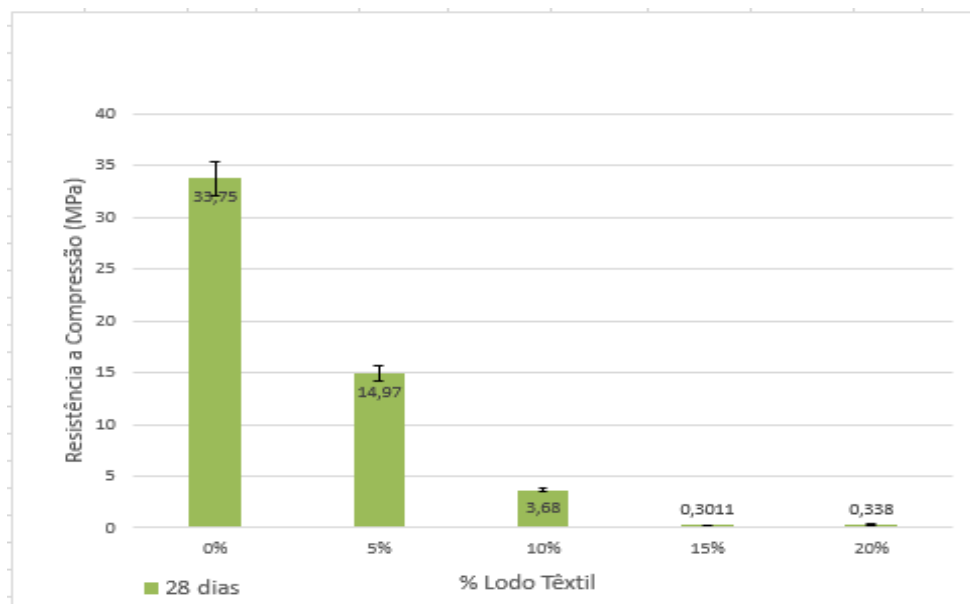
4.6 Resistência à compressão

Análises de resistência à compressão foram realizadas nos corpos de prova de argamassa aditivadas com lodo têxtil em diferentes proporções após 28 dias de cura. Estas caracterizações permitem avaliar o comportamento mecânico do material e sua resposta à esforços frequentemente empregados nos materiais utilizados na engenharia civil.

Os resultados da resistência à compressão para as argamassas estudadas, são apresentadas na Figura 32, representando o valor médio de 5 corpos de prova da mesma condição. Após os ensaios de resistência a compressão, nota-se claramente que a argamassa experimental torna-se frágil após a adição de lodo têxtil e seu comportamento é característico de cerâmicas, assim como as argamassas e concretos convencionais. De

acordo com o gráfico da Figura 32, verifica-se que as amostras de referência apresentaram o maior valor de resistência, da ordem 33,75 MPa em média aos 28 dias. As amostras com 15% de lodo, apresentaram valores de resistência da ordem de 0,30 Mpa, apresentando, desta forma, uma redução de 11250%.

Figura 32 - Resistência à compressão da argamassa experimental a 28 dias de cura.



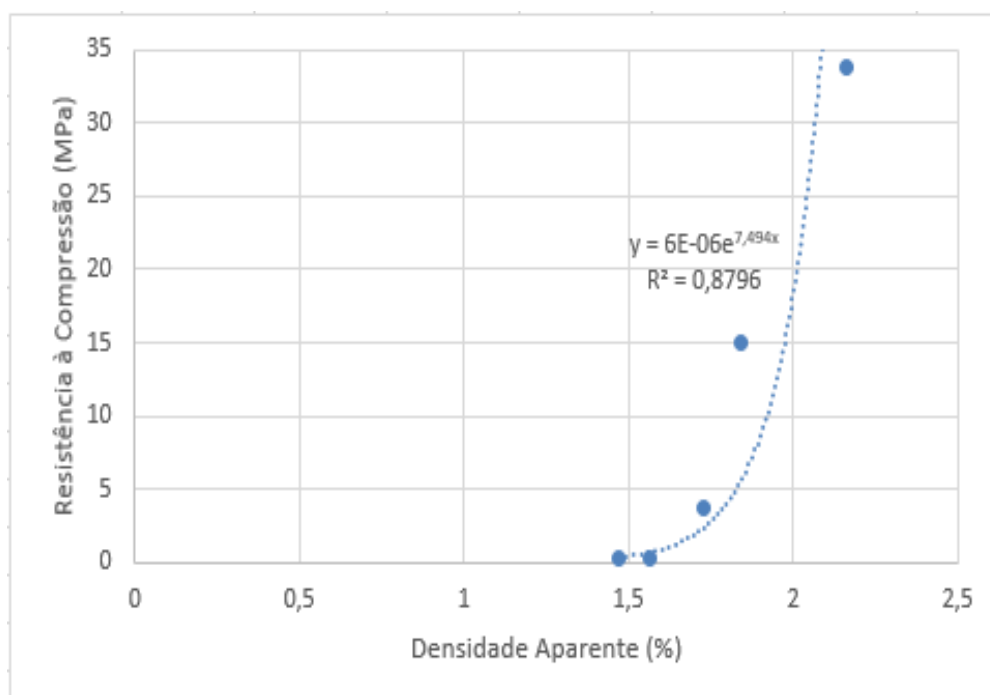
Fonte: Produzido pelo autor.

Os resultados mostram primeiramente uma disparidade em relação à REF e as amostras porosas, sendo em relação as amostras com menor fração de lodo têxtil 2,2 vezes maior a resistência à compressão para 28 dias.

A resistência de um material é dada pela fórmula $\sigma = F/A$, sendo que a tensão resistida por um dado material é inversamente proporcional a sua área. A formação de poros no interior da matriz reduz a área que efetivamente resiste às cargas aplicadas. Neste sentido, pode-se verificar que a medida que a quantidade de poros aumenta, ocorre uma redução na resistência efetiva apresentada pelo material.

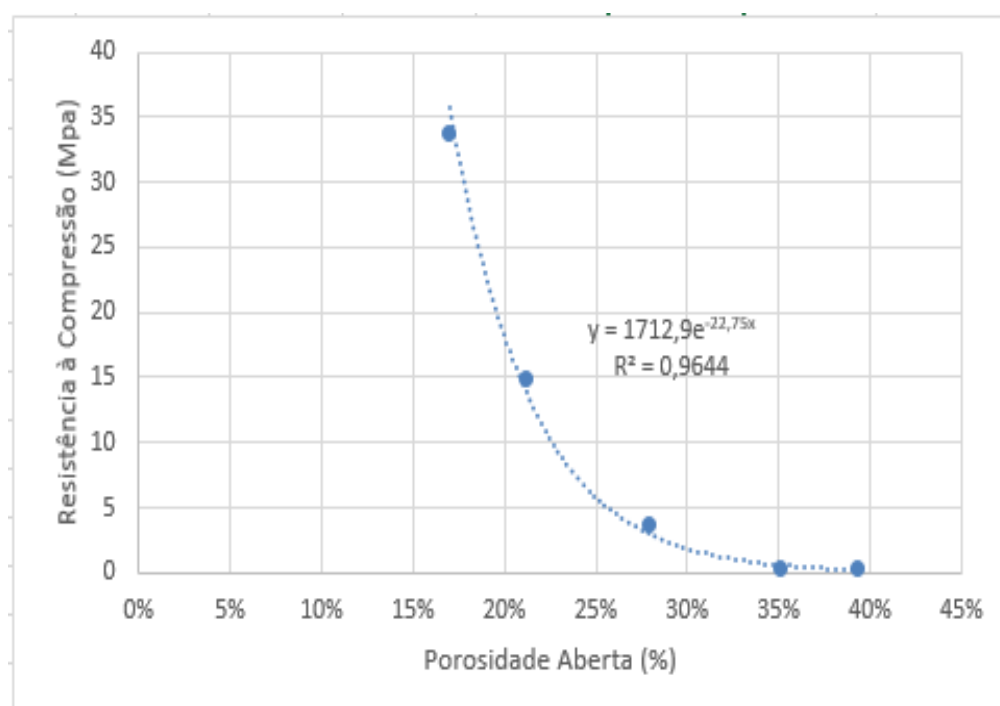
Nas figuras 33, 34 e 35 são apresentas as relações entre a compressão e as propriedades físicas densidade aparente, porosidade aberta e absorção de água aos 28 dias de cura, todas relações apresentam uma linha de tendência de potência com sua respectiva equação e R^2 .

Figura 33 - Gráfico comparativo compressão/densidade aos 28 dias de cura



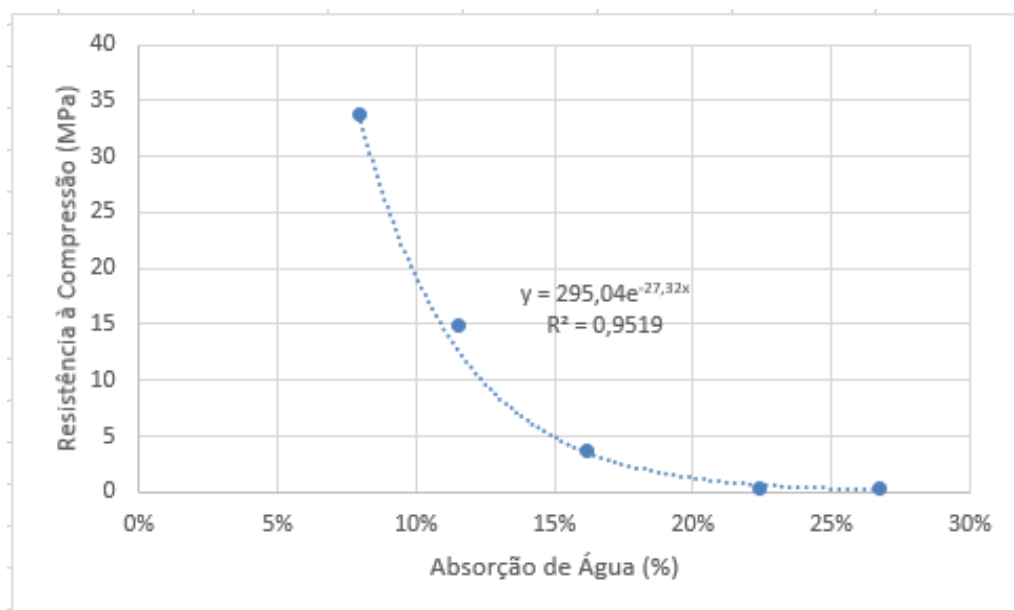
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 34 - Gráfico comparativo compressão/porosidade aos 28 dias de cura



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 35 - Gráfico comparativo compressão/absorção aos 28 dias de cura

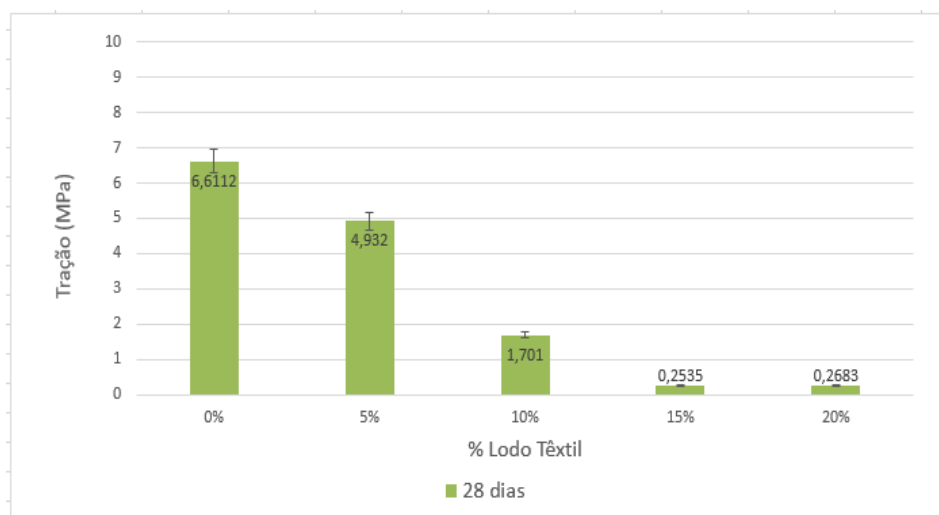


Fonte: Produzido pelo autor.

4.7 Resistência à flexão

Os valores de resistência à flexão, apresentados na Figura 36 foram obtidos após 28 dias de cura, representando o valor médio de 3 corpos de prova. Os resultados indicam que as amostras de referência apresentaram o maior valor de resistência, da ordem de 6,61 Mpa, enquanto que as amostras com 15% apresentaram valores menores de resistência a flexão, da ordem de 0,25 Mpa, resultando uma redução de 2644%.

Figura 36 - Resistência à flexão da argamassa experimental a 28 dias de cura.

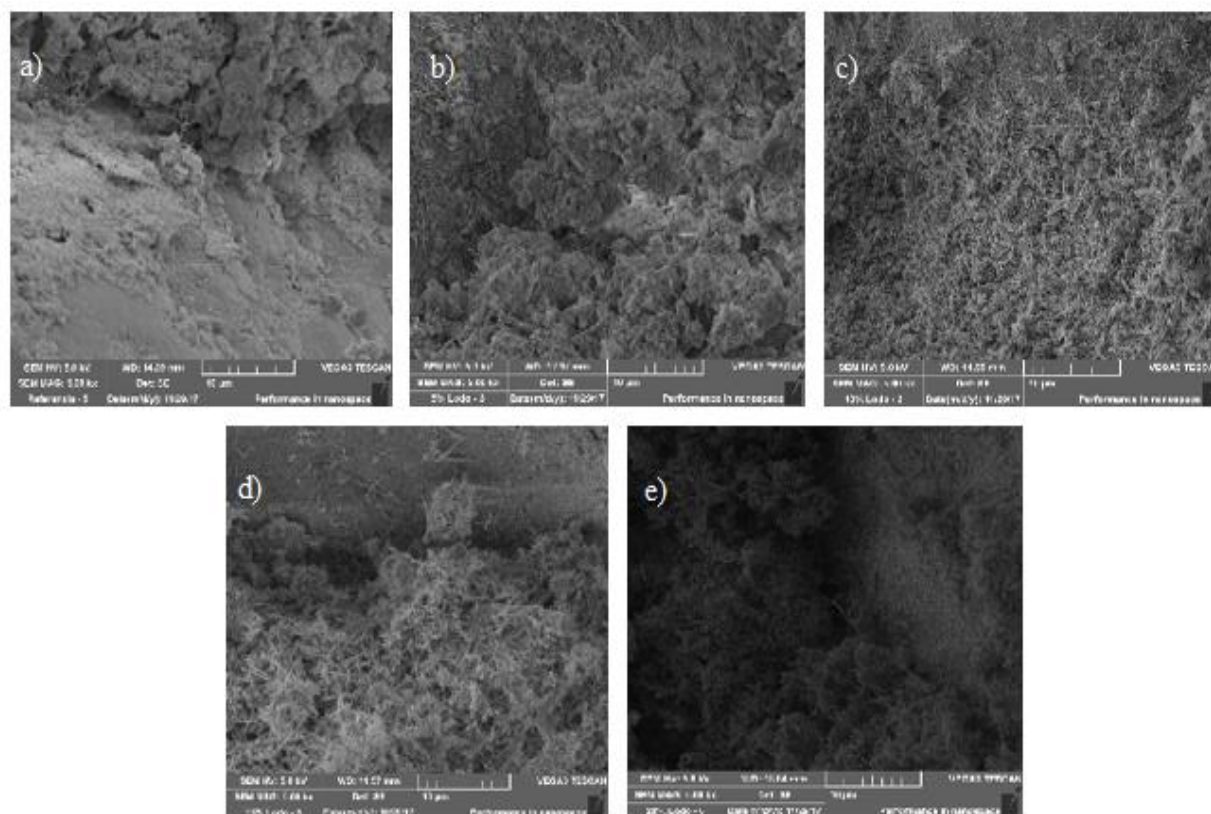


Fonte: Produzido pelo autor.

4.8 MEV

A partir dos ensaio de MEV, foi possível analisar as micrografias correspondentes aos diferentes teores de lodo, como apresentados na Figura 37. Foi utilizado uma resolução de 5000 mil vezes para analisar as estruturas microscópicas de cada corpo de prova.

Figura 37 - Micrografias obtidas por meio da MEV para os corpos de prova, a) REF; b) 5%; c) 10%; d) 15%; e) 20%.



Fonte: UNIFEI.

Foi possível visualizar o aumento dos poros e de fibras a medida que os teores de lodo têxtil são incorporados na argamassa. A quantidade de poros está diretamente relacionada à resistência à compressão e ao índice de absorção de água. Quanto maior a quantidade de poros, menor será a resistência à compressão e maior será o índice de absorção de água. Os resultados podem ser comprovados pelas análises de resistência à compressão e de absorção de água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, foi possível concluir que o lodo têxtil influenciou diretamente nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas experimentais.

Os resultados de densidade aparente indicaram que o aumento da dosagem de lodo têxtil resultou no decréscimo da densidade aparente, até 32,5% se comparado com a referência.

Os valores obtidos para a porosidade aberta em relação à resistência a compressão seguem um comportamento inverso ao da densidade aparente descrito pela lei da potência.

Estes resultados mostram que a incorporação do lodo têxtil, favorece a retenção de água pela argamassa.

A principal causa da diminuição da resistência dos corpos de prova com o aumento do teor de lodo têxtil deve-se ao teor de matéria orgânica presente no mesmo. Mesmo que as resistências dos corpos de prova diminuam com a adição do lodo, esses materiais ainda possuem aplicações na construção civil, em situações de menor exigência de resistência. Exemplificando, para o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural, a resistência média requerida é de 2,5 MPa, enquanto para o material de alvenaria estrutural a resistência requerida é de 4,5 a 16,0 MPa. Segundo os dados do trabalho, para 28 dias, as argamassas com até 10% de lodo têxtil possuem empregabilidade na construção civil.

Pietrobon et al. (2002) realizaram um estudo preliminar referente à estabilização e solidificação do lodo de lavanderia para reutilização de argamassa de construção. Os resultados de ensaios de resistência à compressão demonstraram que a incorporação do lodo diminui a resistência da argamassa, devido à presença da matéria orgânica existente. Mesmo com a diminuição da resistência, esses materiais podem ser utilizados como material secundário na construção civil, sem função estrutural.

Ainda referente à incorporação do lodo em material cerâmico, Teixeira et al. (2006) verificaram que as propriedades tecnológicas diminuíram com a incorporação do lodo, mas ainda permaneceram dentro dos valores aceitáveis para produção de tijolos. Os

autores também avaliaram o efeito do tipo de floculante usado na Estação de Tratamento de Água (ETA), sobre as propriedades dos corpos de prova. Quando os floculantes são de alumínio, pode ser incorporado até 10% do lodo em massa cerâmica, já com o coagulante de ferro a adição do lodo é satisfatória com 20% de incorporação.

Os resultados encontrados na porcentagem de absorção de água se mostraram diretamente proporcionais aos de porosidade aberta e inversos aos de densidade aparente, e foram os que mostraram maior variação, já que a amostra com 20% de lodo têxtil apresentou um aumento aproximado de 237,5% de absorção de água em relação a amostra de referência.

A presença do lodo têxtil demandou menores teores de água na mistura, de modo a manter o espalhamento dentro dos valores pré-estabelecidos. Tais teores foram fundamentais para a variação dos resultados de compressão com 28 dias de cura.

De forma geral, a inclusão do lodo têxtil em meio à construção civil oferece propriedades capazes de serem aplicadas no setor, e quando adicionado em argamassas resulta em baixa densidade aparente e elevada absorção de água, tornando este material uma alternativa viável para diversas áreas da construção civil.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Analisar a estabilidade térmica das amostras;
- O lodo pode ser queimado para que seu material orgânico seja calcinado, antes da incorporação na argamassa;
- Utilizar as cinzas do lodo para realizar sua caracterização química;
- Realizar ensaios de termogravimetria e análise térmica diferencial, para encontrar a temperatura ótima de queima;
- Analisar os resultados mecânicos após 7 dias de cura;
- Verificar resultados mecânicos em idades mais avançadas.

REFERÊNCIAS

- ACQUA BRASILIS. Disponível em: <<http://www.acquabrasilis.com.br/home/>>. Acesso em: 01 dez. 2016.
- AÏTCIN, P. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. *Cement and Concrete Research*, v. 30, n. 9, 2000, p. 1349-59.
- ALMEIDA, P. H. S. et. al. Estudo Sobre a Solidificação/Estabilização de Lodo de Lavanderias Industriais para a Fabricação de Blocos Cerâmicos Acústicos (Ressoadores de Helmholtz). In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2011.
- AMORIM, H. R. Síntese dos processos de beneficiamento de tecidos. Série Estudos Têxteis, 01-D. Rio de Janeiro: SENAI/DN, SENAI/CETIQT, CNPq, IBICT, PADCT, TIB, 1996.
- ANDRADE, R. O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2002.
- APHA – American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed. AWWA, WPCF, Washington, D.C., 2005
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. Manual de Engenharia Têxtil. v. 2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984. In: MELO, A. R. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. 2005. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.270-2/05**: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.270-3/05**: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE LAVANDERIA – ANEL, 2000. Disponível em: <www.mct.com.br/anel/departe/2.htm>. Acesso em: 23 dez. 2016.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 1987a.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987b.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação** – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, J. J. R. Poluição da indústria têxtil. Rede Social para Compartilhamento Acadêmico, [s.l.], 2010.

BARROS, M. C.; BASTOS, N. F. **Edificações sustentáveis e certificações ambientais** – análise do selo qualidade verde. 2011. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. 2015.

BELTRAME, E. S. **Meio ambiente na construção civil**. 2013. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

BELTRAME, L.T.C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2000. 161 p.

BERNUCCI, L. B. et al. **Composição química: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2010. Disponível em <http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm>. Acesso em: 26 mar. 2017.

BLACKLER, C.E.; DENBOW, R.; LEVINE, W.; NEMSICK, K. e POLK, R. A comparative analysis of tetrachloroethene dry cleaning and an alternative wet cleaning process. Michigan, 1998. Disponível em <<http://www.umich.edu/nppcpub/resources/tetrachloroethenoexecsum.html>>. Acesso em 20 jul. 2017.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Máquinas de lavanderia deverão ser adaptadas para diminuir exposição ao tetrachloroeteno**. Brasília: ANVISA, 2004. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2017.

BRITO, G. A.; Sustentabilidade: um desafio para as lavanderias industriais. Vol. 4. n.2 Disponível em <<http://www.cetigt.senai.br/ead/redige/index.php/article/viewFile/211/215>>. ISSN 2179-1619. Acesso em: 20 nov. 2017.

CAVALCANTE, CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: Workshop "Reciclagem e Reutilização de Resíduos como materiais de construção". ANTAC, São Paulo, Brasil: p. 31- 38. 1996.

CHAVES, Eduardo S. Esgotos. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAALp4AL/apostila-esgotos>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

CHERIAF, M., PRIM, E.C.C., et al. Valorização do lodo da indústria têxtil como novo material de construção civil. In: I Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela RS, 18-21 nov.1997, p. 6.

COLANZI, J.; PIETROBON, C. L. Caracterização físico-química de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia têxtil. In: XI Encontro Anual de Iniciação Científica. Maringá, 2002.

CUSIDÓ, J. A., CREMADES, L V. Environmental effects of using clay bricks produced with sewage sludge: leachability and toxicity studies. **Waste Management**, Barcelona, v. 32, n. 6, p. 1202-1208, 2012.

Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAskAF/poluicao-industria-textil>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

DAL MOLIN, D.C.C; MASUERO, A. B.; ANDRADE, J. J. O.; POSSAN, E.; MASUERO, J. R.; MENNUCCI, M. M. Contribuição à Previsão da Vida Útil de Estruturas de Concreto. In: Claudio de Souza Kazmierczak, Márcio Minto Fabrício. (Org.). Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade. 1ed. Editora Scienza, 2016, v. , p. 223-270.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

DOW, C.C. **Um guia básico para a lavagem a seco**. São Paulo: s/n., 1992.

ESCOLA POLITÉCNICA-USP. Disponível em: <<http://www.purapoli.usp.br>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reuso de água**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo: FIESP, CIESP, 2004.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

FUMAGALLI. Reciclagem de água: um compromisso da Fumagalli com as futuras gerações. Disponível em: <<http://fiesp.com.br/agencianoticias> 15/04/2010 premio_fiesp_reuso_agua_fumagalli.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

GALASSI, C; ALMEIDA, P.H.S; BARBOSA, P.P; FRANCO, J.M; TAVERES, C.R.G. Utilização dos lodos de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos acústicos. 3º Simpósio de pós graduação em engenharia urbana. Maringá: 2012.

GETZNER, M. The quantitative and qualitative impacts of clean technologies on employment. **Journal of cleaner production**, v. 10, p. 305-319, 2002. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/Palestras/ISeminarioGAP2011/ArtigoTecnologiaPlasmaUERJLAR.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2017.

HEREK, L. C. S. Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 4, p. 41-46, julho/agosto, 2005.

HEREK L. C. et al. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. **Cerâmica**, Maringá, n. 55, p. 326-331, 2009.

JENKINS, R. X-Ray Fluorescence Spectrometry. Second edition. New York: Wiley, 1999.

KIEHL, E.J. Fertilizantes Orgânicos. Editora Agronômica Ceres LTDA, São Paulo, p. 492, 1985.

LEÃO, M. M. et al. Aplicação da reação de Fenton na remoção de cor e da DQO de efluentes têxteis. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

LEITE, P. R. **Logística reversa**: meio ambiente e competitividade. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEITE, J. M. **A influência da vermiculita em argamassa geopolimérica com adição de nanotitânia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LESSA FILHO, I. **Educação ambiental e reciclagem**. São Paulo: Fundamento, 2005.

MEDEIROS, D. D.; CALÁBRIA, F. A.; SILVA, G. C. S.; SILVA FILHO, J. C. G. Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 109-128, 2007.

MELLO, G. **Caracterização e tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial**. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Passo Fundo, 2000.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron**. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MENEZES, J. C. S. S. **Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MONTEIRO, S. N. et al. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction And Building Materials**, Campo dos Goytacazes, v. 22, n. 6, p. 1281-1287, 2008.

MONTEIRO, S.N.; ALEXANDRE, J. Margem J.I.; SANCHEZ, R.; VIEIRA C.M.F. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic, Science Direct, Janeiro, 2007.

NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. *Scanning Microscopy*. v.11, 901-909, 1987.

NEVILLE, Adam M. *Propriedades do Concreto*. São Paulo: Editora Pini, 2ª Edição, 1997, 28p.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. N. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, Campo dos Goytacazes, v. 54, n. 330, p.167-173, 2008.

PENNINGS ECM, GRELLNER W. Precise nondestructive determination of density of porous ceramics. *J Am Ceram Soc* 1989;72:1268–70.

PIETROBON, C. L. R. et al. Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação - de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p.1659-1664, 2002.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. *Revista Técnico-Científica CREA-PR*, v. V1, p. 1-18, 2013.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas. 2006. 316 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

SILVA, Julio César da. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno e Vermiculita Expandida em Argamassas com Nanotitânia. 2015. 64 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. *Princípios de Análise Instrumental*, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009.